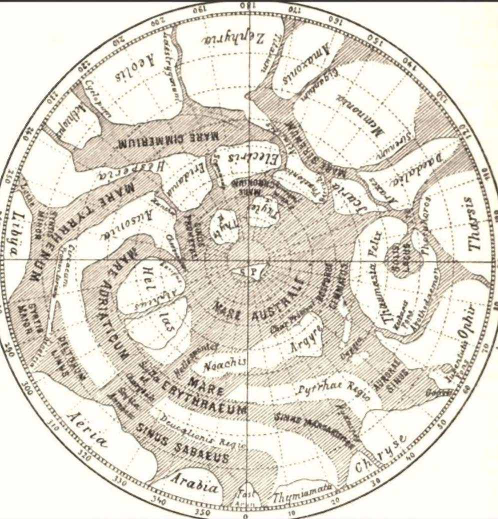


Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie

Siegmund Günther

PSB
Guenther

LEHRBUCH

DER

GEOPHYSIK

UND

PHYSIKALISCHEN GEOGRAPHIE.

VON

DR. SIEGMUND GÜNTHER,
PROFESSOR AM GYMNASIUM ZU ANSBACH.

ZWEI BÄNDE.

I. BAND.

MIT 77 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1884.

SEINEN GEEHRTEN FREUNDEN

ANTONIO FAVARO

UND

GIOVANNI MARINELLI,

PROFESSOREN AN DER UNIVERSITÄT PADUA,

VEREHRUNGSVOLL GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Vorwort.

Es mag als ein Wagniss erscheinen, ein Lehrbuch der terrestrischen Physik gerade in einer Zeit der Oeffentlichkeit zu übergeben, während deren durch die Werke von Supan, Ziegler, Hann-Hochstetter-Pokorny, Peschel-Leipoldt, durch E. Suess' grossartiges „Antlitz der Erde“ und endlich nicht zum mindesten durch die Ratzel'sche Sammlung trefflicher Einzeldarstellungen etwaigen Bedürfnissen der deutschen Leserwelt so ausgiebig Rechnung getragen wird. Als der Plan zu dem vorliegenden Buche gefasst ward, war jedoch von all' jenen Publikationen noch verhältnissmässig wenig bekannt, und nachher gewann es doch den Anschein, als sei ein im Sinne jenes Planes gearbeitetes Lehrbuch kein Ueberfluss. Unser Bestreben lässt sich in Kürze dahin formuliren, dass in möglichst systematischem Aufbau der einzelnen Lehren zugleich der mathematischen Entwickelung ein grösserer Spielraum gewährt und dabei auch auf die geschichtliche Entstehung und Ausbildung unseres Wissens umfassend Bedacht genommen werden sollte. Diesem Zwecke sollen auch die literarischen Nachweise dienen.

Man wird, wie der Verf. hofft, nirgendwo der mathematischen Behandlung nachsagen können, dass sie sich unnöthig in den Vordergrund dränge; es ist im Gegentheile nur dann — dann aber auch rückhaltslos — auf sie zurückgegriffen worden, wenn Theorieen, wie z. B. diejenige des Geoides, ohne diese Hülfe nicht wissenschaftlich genügend vorgetragen werden können. Die Geographen, und insbesondere die Studirenden der Erdkunde, scheuen heute nicht mehr, wie ehedem, vor Formeln zurück, sie wissen, dass mathematische und physikalische Vorkenntnisse ihnen ebenso unentbehrlich sind, wie geologische und historische, und wüssten sie es noch nicht, die Lesung Einer Seite der ausgezeichneten Berichte, welche Zöppritz in Hermann Wagner's „geograph. Jahrbuch“ über die Fortschritte der Geophysik erstattet, würde sie eines andren belehren. Der Verf. benützt mit Freuden

die sich ihm hier darbietende Gelegenheit, öffentlich seinen Dank für die Förderung auszusprechen, welche ihm für sein eigenes Unternehmen gerade aus diesen Referaten erwachsen ist.

Ursprünglich war das vorliegende Buch nur auf Einen Band berechnet. Der Verf. fühlt sich der Verlagshandlung, welche auch sonst mit hoher Bereitwilligkeit auf seine Wünsche eingieng, sehr zu Dank verpflichtet dafür, dass sie sich mit einer Trennung in zwei gleichstarke Bände einverstanden erklärte. Dieser erste Band umfasst etwa diejenigen Gegenstände, welche auf Seite 30 als eventuell der Geophysik angehörig bezeichnet werden, während der zweite der physikalischen Geographie im Speziellen gewidmet ist. Insoferne für Meteorologie, Erdmagnetismus, Meereskunde u. s. w. bereits monographische Lehrmittel von anerkannter Bedeutung in genügender Menge vorliegen, durfte im zweiten Bande die Darstellung eine kürzere und gedrängtere werden. Namentlich konnte der biologische Theil nur sehr kurz abgehandelt werden; derselbe ist auch nicht für Geographen als solche, sondern lediglich für solche Studirende der mathematischen Wissenschaften bestimmt, welche auch der — für den Analytiker ja noch ein so weites Arbeitsfeld eröffnenden — Disciplin der Erdphysik ihr Interesse zuzuwenden gedenken. — Die Figuren wurden ausnahmslos vom Verf. selbst gezeichnet, ein Umstand, der, wie er hofft, als Entschuldigungsgrund für manche technische Unvollkommenheit gelten kann.

Die Bemerkung auf Seite 285 über die Erfindungsgeschichte der Wasserwage stützt sich auf Rudolf Wolf's in den I. Band von Boncompagni's „Bullettino" eingerückte Note „Matériaux divers pour servir à l'histoire des mathématiques". Der Autor hat jedoch später in seiner „Geschichte der Astronomie" sich selbst berichtigt und Thevenot wieder in seine Rechte eingesetzt.

Ansbach, im März 1884.

S. Günther.

Inhalts-Uebersicht.

Geschichtlich-literarische Einleitung.

Erste Abtheilung.

Die kosmische Stellung der Erde.

Zweite Abtheilung.

Allgemeine mathematische und physikalische Verhältnisse des Erdkörpers.

Kapitel I. Die Erde als Kugel und Rotationssphäroid.

Kapitel II. Die Attraktionsphänomene und deren Anwendung zur Bestimmung der Gestalt und Dichte der Erde.

Kapitel III. Das Geoid.

Kapitel IV. Die Bewegung der Erde im Raume.

Dritte Abtheilung.

Geophysik im engeren Sinne: dynamische Geologie.

sphäre besprochen, welche das Alterthum mit den Erschütterungen der Erdfeste in einen Causalnexus zu bringen liebte. Die meteorologische Optik erfüllt das dritte Buch, doch werden in dasselbe auch die Orkane und Wirbelstürme mit herein genommen, und das vierte ist physikalischer Natur, insoferne dort die allen materiellen Körpern gemeinsamen Grundeigenschaften erörtert werden. Es kann hier natürlich nicht unsere Aufgabe sein, den einzelnen Entdeckungen oder wohl auch Fehlgriffen des Stagiriten nachzugehen; aus dem Mitgetheilten erhellt bereits, dass er der erste Schriftsteller grossartigeren Maassstabes auf dem Gebiete der tellurischen Physik war, und so werden wir uns auch nicht darüber wundern dürfen, dass seine Thätigkeit schulemachend wirkte. Unmittelbar von ihm unterrichtet war beispielsweise jener Dikaearch, der durch die ersten nicht auf roher Schätzung beruhenden Bestimmungen von Bergeshöhen zuerst einige Ordnung in die abenteuerlichen orographischen Anschauungen seines Volkes brachte [16]. Weit wichtiger als er ist aber der verdienstvolle didaktische Schriftsteller des Griechenthums, der uns bereits bekannte Theophrast, der namentlich auch für die mannigfachen kosmographischen Anregungen empfänglich war, welche sich aus der rasch anwachsenden Literatur über den Alexanderzug ergaben [17], während der Meister selbst gerade mit Rücksicht auf die von jenem zu erwartende Bereicherung unseres Naturwissens noch eine gewisse Zurückhaltung beobachten zu sollen geglaubt hatte [18]. Hierher gehört auch der nicht genau bekannte Verfasser des pseudoaristotelischen Buches „περὶ κόσμου“, der wohl schwerlich Apulejus und viel wahrscheinlicher ein Hellene aus der alexandrinischen Periode war*). Möglicherweise wäre die Autorschaft zurückzuführen auf den gelehrten Posidonius, der — von seinen Verdiensten um die rein mathematischen Partieen der Erdkunde abgesehen — an dieser Stelle namentlich um seines Strebens willen genannt werden muss, die Physik des Meeres und in dieser wiederum besonders die Lehre von den Gezeiten übersichtlich darzustellen [20]. Als wissenschaftlicher Enkel des Aristoteles darf endlich der Lampsacener Straton, ein Schüler des Theophrast, gelten, der sich eifrig jener Abtheilung der physischen Erdkunde widmete, die man am Besten als dynamische Geologie bezeichnet.

Die alexandrinische Astronomenschule, deren Vertreter wir, soweit es sich um geographische Dinge handelt, in Eratosthenes, Hipparch und dem allerdings weit späteren Ptolemäus zu erblicken gewohnt sind, nahm, wie Berger [21] hervorhebt, von dem physikalischen Zweige der Wissenschaft so gut wie gar keine Notiz und bereitete durch diese Einseitigkeit den ganz naturgemässen Rückschlag vor. Denn es bahnte sich so eine Richtung an, welche umgekehrt der so nothwendigen Controle der Geometrie entrathen zu können glaubte und so einen Irrweg inaugurirte, auf dem man leider auch jetzt noch nur zu viele Freunde der Erdkunde dahinwandeln sieht**). Als einen

*) Diese Meinung, welche sich auf die grosse Aehnlichkeit zwischen des Apulejus Schrift „De mundo“ und dem angeblich aristotelischen Traktate stützt, ist hauptsächlich von Goldbacher [19] zu nichte gemacht worden.

**) Besonders übel kann den Gegnern der mathematischen Methode in der Erdkunde diess allerdings nicht genommen werden, wenn man sich solcher geometrischer Uebertreibungen im anderen Lager schuldig machte, wie es der Stoiker

der hervorragendsten Choragen dieser Schule müssen wir Polybius anführen, der die Geographie, ähnlich wie es die Schulvorschriften vieler deutscher Länder thun, zu einer blossen Hülfswissenschaft der Geschichte degradirt wissen wollte, der den von Pytheas aus der Ferne mitgebrachten Erfahrungsthatsachen nur spöttisches Misstrauen entgegenbrachte, dem aber bei alle dem Berger das folgende lobende Zeugniss auszustellen sich gedrungen fühlt [23]: „Er knüpfte an die Besprechung der günstigen Lage von Byzanz ein treffliches Referat der stratonischen Lehren über die Abdämmung der Mäotis und des Pontus Euxinus. Partieen der physischen Erdkunde scheint er mit Vorliebe eingeflochten zu haben." Immer erkennbarer tritt die kritisch-zersplitternde und eine in damaliger Zeit noch nicht so sehr nöthige Arbeitstheilung begünstigende Tendenz hervor bei den auf Polybius folgenden Geographen, bei Agatharchides, Artemidor, Theophanes u. a., die zu dem freilich nicht minder einseitigen, durch natürliche Genialität diesen Fehler aber reichlich wieder ausgleichenden grössten Geographen der Antike, zu Strabon aus Amasia, hinüberleiten [24]. Zu billigen ist es freilich nicht, dass ein Mann, wie er, die Einheitlichkeit der Wissenschaft so wenig hoch schätzte und das weite Arbeitsfeld der astronomisch mathematischen Geographie als ein von dem eigenen weit seitab liegendes betrachtete, das wohl einzelne auch für seine Zwecke brauchbare Früchte hervorbringe, sonst aber eine Domäne des Geometers bilde und den Geographen als solchen nichts angehe. Ein Glück nur, dass dieser Theil seiner Lehren von der Folgezeit nicht berücksichtigt worden ist.

Ein um so hellerer Blick spricht sich in allen Ausführungen Strabon's aus, sobald er auf die naturwissenschaftliche Seite der Geographie und namentlich auf die Morphologie der Erdoberfläche zu reden kommt. Wir verweisen Jeden, der sich über diese Punkte bequemer als auf dem Wege des Quellenstudiums einen Ueberblick zu verschaffen wünscht, auf jene reichhaltige Programmabhandlung H. Fischer's [25], die wir im weiteren Fortgange dieses Buches noch sehr oft zu citiren haben werden, und begnügen uns mit der Heraushebung einiger besonders bemerkenswerther Einzelheiten. Die vertikale Gliederung des Erdreliefs erschien ihm als dem Ersten wichtig genug, um einer besonderen Klassifikation zu bedürfen [26], die Hebungen und Senkungen des festen Erdbodens untersuchte er weit genauer als seine Vorläufer Hipparch und Posidonius [27], die erosive Wirkung der Gewässer war ihm kein Geheimniss [28], und wie er überhaupt mit Vorliebe hydrographische Untersuchungen anstellte (z. B. über Schwemmland, Deltabildung u. dgl.) so widersetzte er sich auch mit Glück dem Beginnen, unmögliche Theorieen über den Lauf und die Verzweigung der Ströme zur Geltung zu bringen. Ebenso bestimmt war er in der Erkenntniss des Faktums „dass successive Erhebung über den Meeresspiegel eine ähnliche Wärmeabnahme und in deren Gefolge auch ähnliche pflanzengeographische Erscheinungen bedingt, wie eine stetige Fortbewegung an der Meeresoberfläche in nordsüdlicher Richtung" [29]. Aus einer unlängst veröffentlichten quellenkritischen Arbeit K. J. Neumann's über

---

Krates that [22]. Dessen Versuch, die Begrenzungslinien des Festen und Flüssigen symmetrisch zu fixiren, soll auf einem Erdglobus in Pergamum (II. Jahrhundert v. Chr.) versinnlicht worden sein.

Strabon [30] zieht ferner deren Recensent, A. Kirchhoff, den Schluss [31], dass der kleinasiatische Forscher durch seine „Taurusgrenze" nicht blos eine wichtige Wasserscheide, sondern auch eine klimatologische Scheidelinie festzulegen beabsichtigte, welche die kalten Nordländer von dem Gebiete des gemässigten Mittelmeerklima's trennt. Man wird diese Deutung nicht für zu kühn erachten, wenn man sich vergegenwärtigt, dass Strabon eben zur Eröffnung weittragender Perspektiven ganz der richtige Mann war; stehen doch auf gleicher Höhe seine Ausführungen über die Küstengliederung eines Landes und den Zusammenhang, der diese rein geometrische Eigenschaft an die Rolle knüpft, welche das fragliche Land in der Geschichte der Menschheit zu spielen berufen ist. Und hätten wir nur den einzigen Ausspruch Strabon's bewahrt von dem „vielgestaltigsten" Welttheil Europa, so würde er allein uns eine Ahnung von der freien und klugen Anschauungsweise des Mannes beibringen können [32].

Mit Strabon erreicht die wissenschaftliche Erdkunde der Griechen nicht allein ihren Höhepunkt, sondern leider gleichzeitig auch ihr Ende, denn was das Gros der „Geographi minores" geleistet, beschränkt sich wesentlich auf Commentirung und Wiederholung des Vorhandenen und trägt nirgends mehr den Stempel selbstständiger Geistesarbeit. In drastischer Sprache hat diese Wahrheit Berger ausgesprochen [33], der freilich auch in seiner Werthschätzung Strabon's der Tendenz seiner geschichtlichen Untersuchung entsprechend nicht so weit geht, wie wir diess thun zu sollen glaubten. Nur eine einzige Schrift der spätgriechischen Literatur möchten wir noch besonderer Erwähnung würdigen, da sie zwar auch zunächst nur den Werth eines Sammelkastens besitzt, gerade aber aus diesem Grunde für die Historiker, die sich bislang nur recht wenig mit ihr beschäftigt haben, eine Fundgrube darbieten dürfte. Diess ist des Plutarch Büchlein „De facie in orbe lunae". Der Grundgedanke desselben gipfelt in dem Bemühen, Analogieen zwischen der Oberflächengestaltung von Mond und Erde ausfindig zu machen, und wenn auch durch dieses Streben einzelne recht sonderbare Blasen zum Aufsteigen gebracht werden*), so nimmt der Tieferblickende in demselben doch die Keime jenes fruchtbaren Ineinandergreifens von Astronomie und Geologie wahr, auf welches zumal die englischen Selenographen der Gegenwart mit ebensoviel Eifer als Erfolg hingewirkt haben. Des Ptolemäus Werk gehört nicht hierher. —

Von den Griechen lenken wir unsere Schritte hinüber zu deren westlichen Nachbarn. Dass der Sinn der Römer für exakte Forschung und speziell für exakte Naturbetrachtung kein besonders feiner war, ist eine vielleicht nur zu sehr bekannte Thatsache, denn es führt diess zu der landläufigen und von K. v. Littrow sogar in einer akademischen Schrift [35] verfochtenen Annahme, dass man die römische Seite des klassischen Alterthums gänzlich ausser Acht lassen dürfe, sobald es sich um geschichtlich-naturwissenschaftliche Fragen handelt. Wir werden den Beweis antreten, dass wenigstens für die physische Erdkunde der

*) A. v. Humboldt nimmt u. a. Bezug auf die in dieser Schrift befürwortete und merkwürdigerweise auch dem orientalischen Vorstellungskreise genehme Ansicht, dass die Umrisslinien, welche schon das unbewaffnete Auge im Vollmonde unterscheidet, nur ein Spiegelbild der irdischen Continentalgrenzen seien [34].

Sachverhalt denn doch ein sehr verschiedener ist. Schon die Dichter des goldenen und silbernen Zeitalters geben uns manche brauchbare Aufschlüsse über die Art und Weise, wie sich der feingebildete Römer das Wesen der auf die Erdoberfläche einwirkenden Kräfte zurecht legte; das Windsystem des Horaz, Vergil's häufig wiederkehrende Hinweisungen auf Astrometeorologie und die zum Theil einen kenntnissreichen Beobachter verrathenden Bemerkungen über geologische Erscheinungen, welche sich in den Metamorphosen des Ovidius finden, verdienen alle Aufmerksamkeit eines dereinstigen Spezialhistorikers der physikalischen Geographie. In noch weit höherem Grade gilt diess von den eigentlichen Naturgedichten der Lateiner, von den sechs Büchern „De rerum natura" des Lucretius und von dem geologischen Lehrgedicht „Aetna", welches nach Teuffel [36] den Lucilius zum Verfasser haben soll. Die modellirende und umformende Wirksamkeit des Wassers hat der auch als Hydrotechniker berühmte Baumeister Vitruvius im achten Buche seines bekannten Werkes „De architectura" einlässlich geschildert. Auch an Systematikern hat es den Römern in unserem Fache keineswegs gefehlt, und wenn wir auch den Ausspruch B. Studer's [37], Plinius der Aeltere habe im zweiten Buche seiner Naturgeschichte, im Gegensatz zu der speziellen Erdkunde der vier folgenden Bücher, eine allgemeine physische Geographie gegeben, nicht so ganz unterschreiben möchten, weil doch dann die Anforderungen, die man an eine solche zu stellen berechtigt ist, gar zu sehr heruntergeschraubt werden müssten, so wollen wir andererseits dem Werke des vielgelehrten Compilators das Lob einer sehr reichhaltigen Materialiensammlung nicht streitig machen. Allein Rom hat auch einen wirklichen Systematiker hervorgebracht, um den man sich nur bei weitem noch nicht genug gekümmert hat, und diess ist Lucius Annaeus Seneca. Wir folgen, indem wir sein Verdienst mit einigen Worten kennzeichnen, der trefflichen Monographie, die Nehring [38] über den unter seinen Zeitgenossen einzig dastehenden Naturphilosophen publicirte.

Obwohl mit einem gewissen Rechte die „Naturales Quaestiones" ihrer ganzen Ausdehnung nach hierher gehören, so sind es doch wesentlich das dritte und sechste Buch, die für uns in Betracht kommen. Das erstgenannte ist der Hydrologie gewidmet; es [39] handelt von der mechanischen und chemischen Aktion der Meteorwasser und von der Entstehung der laufenden Gewässer, wobei nicht blos die Temperatur und Farbe derselben, sondern auch die Sedimentbildung, die periodisch fliessenden Quellen zur Besprechung gelangen. Sowohl die formbildende Gewalt des Wassers durch Erosion, als auch dessen nivellirende Thätigkeit bei der Bildung von Schwemmland sind dem Seneca genau bekannt, der uns auch, gleich so manchem Vertreter der modernen Neptunistenschule, als entschiedener Anhänger der Theorie von einer periodisch wirkenden Erdüberfluthung entgegentritt. Im sechsten Buche [40] spricht er von den Erdbeben, über deren Verlauf er umfassende Erfahrungen eingezogen haben muss, da er insbesondere auch über die geographischen Vorbedingungen dieser Erscheinungen völlig klar urtheilt und hier manche Wahrheiten anticipirt, die noch heute wenig verändert in den geologischen Lehrbüchern vorgetragen werden. Die gleichfalls alle wichtigen Punkte streifende Vulkanlehre Seneca's [41] gemahnt auf das Lebhafteste an die Epoche Leopold's v. Buch und

Alexander's v. Humboldt. Im dritten und vierten Buche finden wir gelegentliche Bemerkungen eingestreut, welche ein tiefergehendes Verständniss meteorologischer Thatsachen erkennen lassen. Zu allem Ueberflusse nennen wir noch die Titel der einzelnen Bücher des Werkes in der Reihenfolge, welche Nehring [42] aus inneren Gründen denselben anweisen will. Wenn man hört, dass dieselben folgeweise von den himmlischen Lichterscheinungen, von den Kometen, vom Hagel, von den Winden, von den Erdbeben (und Vulkanen), vom Blitz, vom Wasser und endlich — gewissermassen zur Anwendung der entwickelten Lehrsätze auf einen interessanten Einzelfall — vom Nil handeln, so wird man uns die Berechtigung dazu nicht absprechen können, die naturwissenschaftlichen Fragen des Seneca als eine in ihrer Art sogar sehr vollständige Encyklopädie der physischen Erdkunde zu bezeichnen.

Die spätere römische Literatur bietet, je mehr wir uns dem Beginne des Mittelalters nähern, um so weniger Ausbeute für unsere Zwecke dar. Der Geschichtschreiber unserer Disciplin freilich, der auch die Nachtseite derselben zu berücksichtigen gesonnen wäre, müsste bei manchem spätlateinischen Autor Halt machen und insbesondere mit Macrobius sich beschäftigen. Die eigenthümlichen Ansichten, welche bei ihm und bei seinen Zeitgenossen zu finden sind betreffs des Grössenverhältnisses des Wassers und Festlandes, hat Humboldt zum Gegenstande einer seiner geistvollen Untersuchungen gemacht [43]. Wir an diesem Orte glauben diese Ausläufer ebensowohl mit Stillschweigen übergehen zu dürfen, wie den von Peschel mit dem Namen einer Periode der „patristischen" Geographie belegten [44] Zeitraum, denn so wenig wir in Abrede zu stellen gemeint sind, dass auch bei den vielfach in unser Gebiet übergreifenden Betrachtungen der Kirchenväter über das Hexaëmeron ab und zu ein ganz gesunder Gedanke durchblitze*), so kommt dergleichen doch zu vereinzelt vor, um in dieser genetischen Skizze einen Platz beanspruchen zu können. — Auch von den Arabern, die sich auf einem anderen Boden nicht allein als Bewahrer des ihnen Ueberlieferten, sondern auch als selbstständige und fruchtbringende Arbeiter bethätigt haben, vermögen wir nur wenig zu berichten, denn nicht blos an geographischem Sinne fehlte es den meisten Orientalen, sondern auch an jener feinsinnigen naturwissenschaftlichen Auffassung, welche einem Strabon und Seneca zu so manchem glücklichem Funde verhalf, obwohl beide wohl weniger reelle physikalische Kenntnisse besassen, als ein gewöhnlicher arabischer Durchschnittsgelehrter. Albirunî, der auf weiten Fahrten sich einen schärferen Blick als viele seiner Landsleute angeeignet hatte und z. B. das Auf- und Abschweben der Koralleninseln im indischen Meere richtig erkannte [45], und Massudi, der zwischen der physischen Beschaffenheit einiger ihm bekannter Länder treffende Vergleiche anstellte [46], sind eigentlich die einzigen Schriftsteller der arabischen Zeit, welche man einigermassen den grossen Männern des Alterthums an die Seite stellen darf. Ausserdem darf vielleicht noch genannt werden Jbn Haitham — bekannter unter dem Namen Alhazen — wegen seiner unleugbaren Verdienste um die meteorologische Optik [47] und Alkhazinî, der in seinem Traktat

---

*) Ein Beispiel dieser Art werden wir gleich im nächsten Kapitel kennen lernen.

von der Wage auf die Angabe von Mitteln dachte, um die Sommertemperatur graduell von derjenigen des Winters zu unterscheiden [48]. Sonst aber haben die muhammedanischen Geographen des Mittelalters ihrer Wissenschaft sogar direkten Schaden zugefügt, indem sie ihrem Hange zur Mythenbildung die Zügel schiessen liessen; so haben sie in die Lehre von den Stromsystemen eine später nur schwer wieder auszurottende Verwirrung hineingetragen [49], und was sie auf diesem Felde sündigten, machte sich um so fühlbarer, als es selbst den besseren ihrer darstellenden Geographen, einem Istachri und Edrisi, an eigentlich kartographischem Talente gänzlich gebrach. Die Lehrbücher unseres Faches machen, soviel des Merkwürdigen und Anziehenden sie in kulturgeschichtlicher Beziehung auch darbieten, keine Ausnahme von der allgemeinen Regel; die durchgehende Tendenz, das Unwahrscheinliche und Sonderbare dem Natürlichen und Einfachen vorzuziehen, macht sich gleicherweise geltend in jenen Schriften, deren Autoren, wie Shemseddin von Damaskus [50] oder Zacharias von Kaswin [51], einen orthodox-mosleminischen Standpunkt vertreten, oder welche, wie das encyklopädische Werkchen der „lauteren Brüder“ [52], einem rationalistischen Zuge ihre Entstehung verdanken. Kazwîni, um von diesem hervorragendsten Compendiographen einige Worte zu sagen, hat seinem Buche einen ganz rationellen Plan zu Grunde gelegt: er giebt zuerst einen Ueberblick über die astronomischen Erscheinungen, indem er die Sphäre jedes einzelnen Wandelsternes getrennt für sich abhandelt, sodann schildert er, von oben niedersteigend, nach einander die Sphären des Feuers, der Luft, des Wassers und der Erde. Jedes der bekannten Meere erhält seine eigene Charakteristik, dann wird das Relief des Erdkörpers beschrieben und der Veränderungen gedacht, welche Erdbeben und andere Umwälzungen in diesem hervorbringen; merkwürdige Berge, Flüsse und Quellen werden aufgezählt, und eine populäre Mineralogie und Gesteinslehre beschliesst das Ganze. Soweit wäre Alles gut, allein die Einzelschilderungen laufen grossentheils auf die Erzählung von Märchen und Reiseabenteuern hinaus, und nur selten entschädigen den modernen Leser für solchen Ballast gesunde Ansichten, wie sie z. B. über den Zusammenhang der Luftströmungen mit lokalem Regenfall geäussert werden*). Im guten Sinne anregend können derartige schriftstellerische Produkte auf das abendländische Gelehrtenthum nicht gewirkt haben. —

Man liest in geschichtlichen Werken gar nicht selten, die Stagnation der Naturwissenschaften sei im Mittelalter eine so vollkommene gewesen, dass man diese Periode ruhig überschlagen könne, und Mancher ist geneigt, dieses absprechende Urtheil ohne Weiteres auch auf die Kosmographie auszudehnen. Wer so schliessen wollte, begienge aber ein schweres Unrecht. Anfänglich natürlich, als man zu den Wissenschaften wieder zurückzukehren anfieng, musste man sich mit dem Wenigen begnügen, was aus spärlich fliessenden und noch dazu abgeleiteten Quellen des antiken Wissens, aus Marcianus Capella, Isidorus Hispalensis u. a., zu schöpfen war; was man in jener frühen Zeit

*) Auch die Bemerkungen über Winde, die an schneebedeckten Gebirgen und Wüsten hinstreichen und durch diese einen besonderen Charakter erhalten, sind zutreffend [53].

von der Erde und den Naturkörpern wusste, ersieht man recht gut aus einem Manuale des Hrabanus Maurus, welches beim Unterrichte in den Klosterschulen gebraucht, neuerdings aber durch die erläuternde Ausgabe Fellner's auch weiteren Kreisen zugänglich gemacht ward [54]. Allein schon mit Scotus Erigena wird es heller auf unserem Gebiete, und die „Magna de naturis philosophia" des Wilhelm von Conches, ein Werk aus der ersten Hälfte des XII. Jahrhunderts, steht nach K. Werner [55], soweit man aus den uns erhaltenen Ueberresten schliessen darf, völlig auf der Höhe, die sich eben damals überhaupt erreichen liess. Selbstständige Denker und gleichzeitig auch Männer, deren soziale Stellung ihnen eine Fülle von Thatsachen ungesucht zuführen musste, waren die Vertreter der scholastischen Glanzzeit, Albertus Magnus, Roger Bacon, Thomas von Aquin. Bacon's naturwissenschaftliche Bedeutung ist zu bekannt, als dass wir länger bei ihr zu verweilen brauchten, von Albert aber pflegt sonst weniger gesprochen zu werden, und doch hat gerade er der physikalischen Seite der Geographie seine besondere Zuneigung gewidmet. Humboldt sagt von ihm [56]: „Die Schrift ‚liber geographicus de natura locorum‘ ist ein Abriss der physischen Erdkunde, in welchem der Verfasser nicht ohne Scharfsinn entwickelt, wie der Unterschied der Breite und die Beschaffenheit der Erdoberfläche gleichzeitig die Verschiedenheit der Klimate bedingen." Auch eigneten dem grossen Dominikaner bereits korrekte pflanzengeographische Anschauungen; er wusste, dass neben der Art der Insolation auch die topische Beschaffenheit des Standortes für die einzelnen Gattungen und Familien von Bedeutung sei [57]. Nicht minder ist des Vincentius Bellovacensis „Speculum naturale" Jedem unentbehrlich, der über das geographische Wissen und die naturwissenschaftliche Initiative der so viel verlästerten christlichen Aristoteliker ein billiges Urtheil gewinnen möchte. Einigermassen gewährt die Mittel hiezu auch das „Weltbild" des spätscholastischen Kardinals Peter von Ailli, der den Stoff zu seinem voluminösen Werke nach der Aeusserung seines Biographen Tschackert [58] zwar wesentlich aus Plinius, Orosius, Isidor und Bacon zusammengetragen hat, gerade deshalb aber von dem Gesammtwissen seiner eigenen und einer weiter zurückliegenden Periode ein entsprechendes Bild liefert. Dass neben solchen besseren Arbeiten, namentlich in den entlegeneren Klöstern, auch sehr untergeordnete kosmographische Compilationen ihr Dasein fristeten, kann nicht überraschen; von einer solchen hat der Verfasser dieses bei einer früheren Gelegenheit [59] eine detaillirte Beschreibung gegeben.

All' die Männer der Wissenschaft, deren wir als mittelalterlicher Koryphäen bisher zu erwähnen hatten, gehörten der Kirche an, doch hat auch das Laienthum seine Verdienste, und namentlich die Italiener des XIII. und XIV. Jahrhunderts verdienen in dieser Beziehung genannt zu werden. Was Boccaccio und Petrarca als geographische Schriftsteller leisteten, erhebt sich allerdings nicht eben über das Durchschnittsniveau ihrer Zeit, um so heller aber strahlt die Ruhmeskrone eines ihnen congenialen oder noch überlegenen Dichters, Dante Alighieri's. In seiner Jugend hatte dieser grosse Mann den Unterricht Pietro Latini's genossen, der in Folge der Bürgerzwiste seine Heimath Florenz verlassen und sich in Paris niedergelassen hatte, wo er in altfranzösischer Sprache sein geographisch nicht minder wie geschichtlich

wichtiges Sammelwerk „Der Schatz“ abfasste, von welchem wir seit einigen Jahrzehnten eine leider blos textuelle Ausgabe [60] besitzen. Jedenfalls hat seine Unterweisung auf den lernbegierigen Schüler im hohen Grade anregend gewirkt, denn Dante fasste ein lebhaftes Interesse für physisch-geographische Fragen und wusste demselben vorkommendenfalls einen bestimmten Ausdruck zu verleihen. Viele Stellen seiner „Divina Commedia“ könnten als Belege herangezogen werden, auch im „Convito“ begegnen wir, wie Libri [61] rühmt, den anschaulichsten Schilderungen von Naturvorgängen, allein auch als monographischer Schriftsteller betrat der Dichterfürst das Gebiet der anscheinend so wenig reizvollen Geophysik. Die aus der Peschel'schen Schule hervorgegangene Schrift von W. Schmidt [62], welche uns Näheres über den Naturforscher Dante mittheilt, gestattet uns einen Blick in das Getriebe wissenschaftlicher Zänkereien zu werfen, welche sich betreffs der Streitfrage erhoben hatten, ob der Schwerpunkt der festen Erdkugel zugleich auch der Schwerpunkt für die irdischen Wassermassen sei, oder nicht. Da war es eben Dante vorbehalten, durch die Betonung des mechanischen Satzes, dass jedem wie immer zusammengesetzten Körper nur ein einziger Schwerpunkt zukomme, dass also die Anordnung der festen wie flüssigen Erdbestandtheile eine diesem gemeinsamen Schwerpunkt entsprechende sein müsse [63], dem ganzen Streit die Spitze abzubrechen; zugleich aber verbreitete er sich bei diesem Anlass auch über andere Themen und erwies sich dabei in allen Sätteln gerecht. Ein Zeitgenosse Dante's, Ristoro von Arezzo, ist ferner der Verfasser einer kosmischen-Physik, die man füglich als typisch für die Methode des Mittelalters betrachten kann. Wie systematisch er in diesem von Narducci herausgegebenen Werke [64] verfuhr, erhellt vielleicht dann am Besten, wenn wir ohne besondere Wahl die Ueberschriften einiger aufeinanderfolgender Abschnitte hier reproduciren [65]: „Della figura della terra discoperta; s'ella dee essere tutta piana, o parte piana o parte montuosa“ . . . „Della cagione, perch'egli fu mestieri che la terra abitabile avesse permessione dell'acque sopra essa e intra essa, correnti e non correnti“ . . . „Della cagione, perch' egli fu mestieri che l'acqua che corre per la terra vegna dal mare e torni nel mare, e della ragione della necessità del mare Mediterraneo.“ Die Art der Fragestellung weicht von der modernen höchstens insoferne beträchtlich ab, als etwas zu grosse Anforderungen an den Erklärer gestellt werden, für die Beantwortung aber erwies sich die vorgefasste Idee höchst nachtheilig, dass Alles, was auf der Erde vorgeht, einen astronomischen, beziehungsweise astrologischen Grund haben müsse, und dass namentlich die Vertheilung der Fixsterne auf der nördlichen und südlichen Himmels-Hemisphäre in gewissen Verschiedenheiten der beiden irdischen Halbkugeln sich abspiegle. —

In dem Maasse, als durch die geographischen Eroberungszüge der Spanier und Portugiesen die Grenzen des länderkundlichen Wissens weiter hinausgerückt wurden, in demselben Maasse gewann auch das Studium der geophysikalischen Eigenschaften unseres Planeten an Tiefe und Umfang. Neue Sternbilder erschienen am Himmel, die thörichte alte Lehre von einer „zona combusta seu inhabitabilis“ verlor ganz von selbst ihren Halt, Luft- und Meeresströmungen von bisher unbekannter Regelmässigkeit legten den Gedanken nahe, dass auch die zweite und

dritte Elementarsphäre, um in dem noch immer beliebten Style des Aristoteles zu reden, von festen Gesetzen beherrscht werde, und die Veränderlichkeit der magnetischen Missweisung eröffnete noch mehr den Blick in neue Gebiete. Konnte sich doch selbst der weit mehr praktisch denn theoretisch angelegte Colon der Versuchung nicht entziehen, für die angebliche Ortsveränderung des Polarsternes und für die Hochfluth an der Orinoko-Mündung groteske Hypothesen aufzustellen [66]. Ebensowenig, wie Colon, waren die Conquistadoren ihrer grossen Mehrzahl nach Leute von wissenschaftlicher Bildung, doch folgten ihnen nicht selten Begleiter, deren Kenntnisse den eigenen zur Ergänzung dienten, und die sich theilweise auch durch eine feine Beobachtungsgabe auszeichneten. Erinnert sei nur an Petrus Martyr de Anghiera, der über die Verschiedenheit der klimatischen Verhältnisse in der alten und neuen Welt ganz treffende Betrachtungen anstellte und z. B. die von der Erwärmung abhängige Verschiebung der Schneegrenze erkannte [67]. Das weitaus hervorragendste Werk der üppigen Reiseliteratur, die seit der Entdeckung neuer Erdtheile emporwuchs, ist die allerdings einer etwas späteren Zeit entstammende, für die physische Geographie noch jetzt bedeutungsvolle Beschreibung der „indischen“ Länder, welche den Jesuiten-Missionär D'Acosta zum Verfasser hat [68]; ein zweites Werk aus seiner Feder über den neuen Welttheil ist nur zum Theil erschienen.

Niemand wird erwarten, dass angesichts der damaligen Verkehrsverhältnisse die befruchtenden neuen Anschauungen, welche die seefahrenden Völker wohl oder übel in sich aufnehmen mussten, besonders rasch auch in die mehr binnenländische Literatur Eingang gefunden hätten. Dort, namentlich in Deutschland, fand die physische Erdkunde für's Erste noch gar keinen Boden, und nur wenige Schriftsteller besassen, man möchte fast sagen, die Kühnheit, für diesen noch nicht zum Range einer eigentlichen und zünftigen Fachwissenschaft erhobenen Zweig ein gewisses Interesse an den Tag zu legen. Einen Ehrenplatz unter diesen wenigen verdient der wackere deutsche Kosmograph Sebastian Münster. In einer neueren Abhandlung von Döderlein über diesen polyhistorisch gebildeten Mann — er war auch als Theologe, Hebräist und Geometer erfolgreich thätig — wird allerdings darauf hingewiesen [69], dass derselbe noch in den hydrographischen Wahnvorstellungen der Araber und ihrer westländischen Nachtreter befangen war; dafür aber muss man ihn als einen der Begründer der wissenschaftlichen Gebirgskunde gelten lassen, und namentlich mit den Gletschern hat er sich unter den Neueren zuerst eingehender beschäftigt [70]. Ein etwas älterer Zeitgenosse Münster's würde, wenn ihn sein Lebensberuf zur schriftstellerischen Thätigkeit hingeführt hätte, im höchsten Grade anregend auf das XVI. Jahrhundert gewirkt haben, allein leider blieben seine nicht blos kühnen, sondern auch auf die Erfahrung gebührend Rücksicht nehmenden Gedanken über geographische und geologische Probleme in seinen Manuskripten begraben. Lionardo da Vinci, der gründliche Kenner der Erosionswirkungen, verdient Peschel's Lob [71], dass das Beste von dem, was seine Periode bezüglich der an der Erdoberfläche vor sich gegangenen Veränderungen zu Tage förderte, von ihm herrühre. Das Jahrhundert, in welchem wir uns soeben bewegten, schloss jedoch nicht, ohne noch eine literarische

Leistung ersten Ranges hervorgebracht zu haben; wir meinen William Gilbert's grossartiges Werk über die magnetischen Erdkräfte, welches gerade im Jahre 1600 das Licht der Welt erblickte [72].

Die Schwelle des neuen Säkulums überschreitend, begegnen wir sofort einer Reihe von Männern, deren die Geschichte der Erdphysik mit Achtung zu gedenken hat. Was Johann Kepler für unsere Disciplin leistete, ist allerdings minder leicht, als bei Anderen festzustellen, da es meist nur gelegentliche Betrachtungen und Aeusserungen sind, die hier in Frage kommen, und da nur für ein spezielles Fach bis jetzt der — sehr gelungene — Versuch gemacht ward, die Ansichten des grossen Astronomen einheitlich darzustellen, nämlich für die Meteorologie [73], so bleibt künftigen Geschichtsforschern noch manche dankbare Aufgabe vorbehalten. An zweiter Stelle steht uns Lord Bacon of Verulam. Nicht leicht sind über einen Naturforscher so widersprechende Urtheile in die Welt gesandt worden, wie über diesen Mann, denn während die Einen in ihm den Vater der induktiven Forschungsmethode verehren, glauben Andere jedwedes Verdienst ihm absprechen zu sollen, und unter diesen Letzteren hat sich Liebig durch die Heftigkeit seiner Angriffe hervorgethan [74]. Wenigstens soweit die physikalische Geographie in Frage kommt, dürfte wohl auch in diesem Falle die Wahrheit in der Mitte liegen, denn wenn auch so mancher Ausspruch des in mathematischen Dingen nicht besonders bewanderten Mannes unser Erstaunen erregt*), so machen doch auf der anderen Seite seine Reflexionen über die Aehnlichkeit der Kontinentalbildung [76] und seine „Theoria ventorum“ wieder einen um so besseren Eindruck, und Wohlwill, dem wir [77] für seine musterhaft objektive Darlegung der für und wider Bacon sprechenden Gründe überhaupt zu Dank verpflichtet sind, sagt mit Recht [78]: „Humboldt spricht wiederholt von Bacon's „berühmter“ Naturgeschichte der Winde; Dove findet in ihr die erste Auffassung des Drehungsgesetzes, das durch ihn zur Grundlage der neueren Meteorologie erhoben ist. Whewell, der in der Lehre von Ebbe und Fluth selbst thätiger Forscher ist, gesteht Bacon sinnreiche Bemerkungen über den Gegenstand zu, obwohl ihm noch die Anziehung des Mondes als eine mystische Erklärung erscheint.“ Immerhin war die Thätigkeit eines Kepler und Bacon für unsere Disciplin mehr eine anregende und wegzeigende; in dem laufenden Jahrhundert begegnen uns aber auch sehr achtbare Versuche systematischer Darstellung des ganzen Wissensgebietes. Die Namen Varenius, Riccioli und Athanasius Kircher sind jedem Physiker und jedem Geographen wohlbekannt.

Ueber die Lebensgeschichte des Ersteren haben neuerdings die Forschungen Breusing's volles Licht verbreitet [79]. Wir wissen jetzt, dass derselbe 1622 zu Hitzacker im Hannöverschen geboren ward, in Hamburg unter Jungius studirte und der im Jahre 1649 erschienenen Beschreibung Japan's sein Hauptwerk, wenn auch noch nicht in ganz vollendeter Gestalt, im nächsten Jahre folgen liess [80], wovon nicht

*) Z. B. der nachstehend angeführte [75]: „Deshalb treiben die Philosophen Possen, wenn sie sagen, dass, wäre die Erde durchbohrt, die schweren Körper aufhören würden, zu fallen, sobald sie zu dem Mittelpunkt gekommen wären.“ In ähnlicher Unklarheit über das Wesen der Schwerkraft befanden sich aber die meisten Zeitgenossen Bacon's, und man darf ihm deshalb obige Stylblume nicht allzusehr verübeln.

weniger als elf Ausgaben existiren; die beste derselben ist von J. Newton [81] besorgt worden*). Nach A. v. Humboldt's klassischem Zeugniss ist Varen's Methode, obwohl dieser selbst das Wort „Geographia comparativa" in einem engeren Sinne gebraucht, eine ächt vergleichende [82]; seine Untersuchungen über die Streichungsrichtung der Gebirge, seine Liste der brennenden und erloschenen Vulkane, seine Studien über die Inselvertheilung und die Meerestiefen, seine Versuche, die Meeresströmungen gleichzeitig durch den Einfluss der Winde, des verschiedenen Salzgehaltes und der Küstengestalt zu erklären, das Alles berechtigt den Verfasser des Kosmos zu dem Ausspruche (a. a. O.): „Das überaus wichtige Werk des Varenius ist im eigentlichen Sinne des Wortes eine physische Erdbeschreibung." Riccioli's fleissiges Sammelwerk [83] erhebt sich, wie man zugestehen muss, nicht bis zu dieser Höhe, dafür aber hat es unzweifelhaft einen ungleich grösseren Leserkreis sich erworben, als die „Geographia generalis". Kircher's Arbeiten richtig zu würdigen, in ihnen die stets reichlich vorhandene Spreu von dem Weizen zu sondern, ist erst der neuesten Zeit vorbehalten gewesen. Man darf, wie neuerdings von Zöckler [84] hervorgehoben worden ist, nicht ausser Acht lassen, dass die dickleibigen Bände des gelehrten Jesuiten nicht blos Lesefrüchte enthalten, dass er vielmehr auch Reisen zu physisch-geographischen Zwecken machte, die Quellen des Tiber untersuchte, auf Malta den Process der Seesalz-Gewinnung durch Autopsie kennen lernte, den Vesuv, den Stromboli-Vulkan und den Aetna persönlich erforschte und die Tiefe der Krater nicht ohne Lebensgefahr mit einem neu erfundenen geodätischen Messwerkzeug zu bestimmen sich bemühte. So darf sein Versuch, in einem eigenen Werke [85] die Physik der Erdrinde wissenschaftlich zu begründen — eine Disciplin, zu der die Grundlage allerdings von einem deutschen Bergmanne bereits gelegt war [86] —, ebensowohl unsere Anerkennung in Anspruch nehmen, wie seine grossentheils auf eigenen Experimenten beruhende Schrift über Magnetismus [87]. Aus der zweiten Hälfte des laufenden Säkulums sind noch zwei Forscher von besonderem Verdienste als die Begründer selbstständiger Unterabtheilungen physisch-geographischen Wissens anzuführen: der Däne Steno, dem die geognostische Schichtenlehre ihren Ursprung verdankt [88], und der Franzose Fournier, der in einem voluminösen Werke [89] eine Fülle von Materialien sammelte, die in ihrer Gesammtheit unserer modernen Oceanographie entsprechen würden. —

Von dieser Zeit ab hat die Physik der Erde, ohne sich freilich zunächst noch als selbstständige Wissenschaft zu fühlen, einen grossartigen Aufschwung genommen. Newton und Leibniz schufen die Rechnungsweisen, deren Anwendung auch schwierigere Probleme der Mechanik zu erledigen gestattete, Halley, Hadley und Mairan trugen den Geist exakter Ergründung in die Lehre von den Lufterscheinungen hinein, die grossen Bewegungen des Weltmeeres fanden in den Ber-

*) Die sehr lebenszähe Behauptung, Newton habe sich auf eine einfache Textausgabe beschränkt, ist, wie Breusing (a. a. O.) darthut, nichtsdestoweniger falsch. Freilich war seine verbessernde Thätigkeit eine ganz geräuschlose, allein er hat, um nur Eines zu sagen, 23 neue Zeichnungen hinzugefügt und einen Irrthum rektificirt, welchen sich Varen bei der Erklärung der stereographischen Projektion hatte zu schulden kommen lassen.

noulli, Euler, D'Alembert ihre Meister, und auch die Physik der Süsswasser erlangte eine festere Begründung durch den noch zu wenig gewürdigten Mariotte [90]. Zugleich brachten grosse Reisen, unter denen nur diejenigen von Dampier, Chazelles, Tournefort und die zum Zwecke der Erdmessung unternommenen Expeditionen nach Peru und Lappland genannt sein mögen, neue Gesichtspunkte in Menge, und eine Menge geistiger Kraft musste verarbeitet werden, um dieselben einigermaassen mit en dbisher in Geltung stehenden Ideen zur Ausgleichung zu bringen. Allerdings hatten alle diese Entdeckungsreisenden stets bestimmte, engere Zwecke im Auge, und nur ausnahmsweise erhoben sich geistreiche Männer, wie Pallas oder De la Condamine, zur Conception umfassenderer Anschauungen. Das XVIII. Jahrhundert, das Zeitalter der Aufklärung, sollte jedoch nicht scheiden, ohne dass ihm eine ganz neue Art des wissenschaftlichen Reisens entsprossen wäre, von welcher man bis dahin wenig wusste, die aber für die Erforschung des Wechselspieles der Naturkräfte auf der Erdoberfläche von ganz unberechenbarem Nutzen gewesen ist. Schon die schwedische Regierung hatte daran gedacht, den Wallfischfängern Gelehrte mitzugeben, deren einzige Bestimmung die Beobachtung und Aufzeichnung der sich darbietenden Naturmerkwürdigkeiten sein sollte [91], doch blieb dieser erste Versuch zunächst noch ohne weitere Folgen. Um so mehr Glück hatte in dieser Beziehung die englische Admiralität, als sie 1772 dem Weltumsegler Cook bei dessen zweiter Fahrt den trefflichen Johann Reinhold Forster mit dem Auftrage beigab, „philosophische Bemerkungen“ über das Gesehene und Erlebte niederzuschreiben. Man muss in dem interessanten Essay Rittau's über Forster [92] selbst nachlesen, wie dieser geniale Reisende die Configuration der Festlandmassen, die Struktur und Lage der Inseln, die Gebirge der von ihm besuchten Länder, die Quellen und Flüsse der Küstenstriche, die Tiefe, Farbe, Dichtigkeit und Wärme des Weltmeeres, das Leuchten der See, die Eisbildung und die mit den klimatischen Verhältnissen nach Art und Intensität variirenden Erscheinungen des Luftkreises durchweg von ganz neuen Seiten her aufzufassen und Verwandtes in Gruppen zusammenzustellen verstand, um einen Begriff davon zu bekommen, wie fruchtbringend Forster's Reisebericht für alle Zweige der physischen Erdkunde werden musste, ganz besonders aber für jene, deren Objekt die gestaltverändernden Beziehungen zwischen Land und Wasser sind. Und was noch mehr, aus diesem Werke und ebenso aus nahem persönlichem Verkehr mit dem Verfasser hat der grösste Forschungsreisende aller Zeiten die mächtigste Förderung gezogen: Alexander v. Humboldt. Freilich, nicht blos ferne Oceane und unbekannte Länder boten Neues und Wunderbares, auch im eigenen Lande war noch genug zu thun übrig geblieben. Ueber die Flachländer und niedrigen Gebirgszüge hinaus lag das geographische Wissen noch gar sehr im Argen, und C. Ritter hatte gar nicht Unrecht, wenn er in einem unlängst erst bekannt gewordenen Akademievortrage von der „Entdeckung“ der Gebirge sprach [93]. Aus dem Alterthum haben wir nur ganz vereinzelte Detailbeschreibungen merkwürdiger Berge, z. B. diejenige des Stenagoras für den Olymp, und auch im Mittelalter dachte man kaum an dergleichen. Die Pyrenäenkette wurde erst durch Pedro de Marcia's politisch-geographisches

Werk „Limes hispanus“ (Paris 1688) bekannt, und von den Alpen wussten selbst die Schweizer lange Zeit hindurch so wenig, dass die Montblancgruppe, die „montagnes maudites“, von zwei englischen Touristen geradezu aufgefunden werden musste. Die physikalische Geographie der Alpen als solche begründet zu haben, ist ein Ruhmestitel des Zürichers Scheuchzer [94], aber erst um die Mitte des Jahrhunderts erschien die erste Monographie der Gletscherwelt von Altmann [95]; aus so unscheinbaren Anfängen erwuchs eine der schönsten und wichtigsten Disciplinen der Erdphysik, die glaciale Geologie. Dann allerdings entwickelte sich in Genf eine förmliche Schule der alpinen Forschung; den Jallabert und Bonnet folgten Senebier, Deluc, Pictet und zumal die beiden Saussure, und die Ufer des Leman scheinen ihre eigenthümliche Anziehungskraft für Studien dieser Art sich bis auf den heutigen Tag bewahrt zu haben, wie die Namen A. Favre, Dufour und Forel beweisen. Die physische Geographie der Alpen hat in B. Studer ihren Spezialhistoriker gefunden, auf dessen verdienstliche Schrift [96] wir nicht unterlassen wollen besonders aufmerksam zu machen.

Es erübrigt uns jetzt, noch einen Blick auf die didaktische Literatur zu werfen, wie sie im Laufe des XVIII. Jahrhunderts sich entfaltet hat. Im Allgemeinen ist hier Erfreuliches zu berichten. Für die Mittelschule hatte freilich der grosse Fortschritt des gelehrten Wissens noch keine rechten Früchte gezeitigt; die Physiker und Mathematiker begannen sich zwar bereits für das umfangreiche, neue Grenzgebiet zu interessiren, allein die geographischen Schriftsteller, auch noch der Büsching'schen Schule, vermochten sich nur schwer von dem Gedanken loszureissen, dass die Erdkunde eine Notizensammlung oder bestenfalls ein Anhängsel der Statistik sei, und erst Gatterer hat, wie unlängst von Kropatschek betont ward [97], den Schulbüchern eine bessere Direktion in dem Sinne gegeben, dass auch die physische Seite der Wissenschaft gehörig betont wurde [98]. Die gelehrte Pedanterie machte nur zu gerne den guten Vorsätzen der Pädagogen einen Strich durch die Rechnung, wie z. B. aus dem Lehrplane des Geraer Gymnasialdirektors Hauptmann (1766) erhellt, in welchem nicht weniger als 24 Unterarten des geographischen Unterrichtes unterschieden werden, darunter als Nummer 4 „Hydrographie“, als Nummer 8 „Oekonomische Geographie“, als Nummer 11 „Physikalische Geographie, von der Luft, Speisen und Krankheiten“ [99]. Aber die Universitäten konnten jetzt wenigstens zum Theile das ersetzen, was der Schulunterricht noch nicht in richtiger Weise darbot; zwar fehlen uns auch hierüber die genaueren Nachweisungen, doch scheint es, dass in Göttingen die beiden Tobias Mayer, Lichtenberg und Kästner, in Greifswald Röhl, in Upsala Celsius und Bergman in ähnlichem Sinne gewirkt haben*). Man gewöhnte sich allgemach daran, mit dem Worte

*) Aus noch früherer Zeit möchte sich dem ersten Anscheine nach nur sehr wenig Gutes und Beachtenswerthes über den geographischen Universitätsunterricht mittheilen lassen. Bis etwa hundert Jahre nach der Reformationszeit — in katholischen Territorien noch weit länger — deckte sich ja der Vortrag der Naturwissenschaft mit demjenigen der aristotelischen Physik, welche der Hörer jedoch nur ganz selten aus den Originalquellen kennen gelernt haben dürfte. Ein

„physische Geographie“ einen klaren und bestimmten Sinn zu verbinden. Buache freilich, der zuerst von einer „Géographie physique“ sprach, verstand darunter etwas Anderes, Beschränkteres, wie wir, obwohl seine Eintheilung derselben in eine „géographie extérieure“ und „intérieure“ Manches für sich hat [102]; die Lehre vom Luftkreis z. B. hätte in seiner Begriffsbestimmung keinen Platz gefunden. Das erste Lehrbuch grossen Styles lieferte der Holländer Lulofs [103]; es ward von Kästner [104] deutsch bearbeitet und enthält — vornämlich in dieser seiner zweiten Gestalt — so ziemlich dieselben Materien, die man noch heutzutage in einem Werke dieser Art zu suchen pflegt. Eine in vielen Beziehungen verwandte Leistung repräsentirt Bergman's Compendium [105], von Röhl [106] in unsere Sprache übertragen; das räumlich überwiegende Kapitel „Von zufälligen Veränderungen“ gewährt auch dem modernen Leser noch reiche Belehrung. Sehr brauchbare Werke rühren vom jüngeren Tob. Mayer [107], ferner von Mitterpacher [108] und dem Astronomen Bode [109] her, deren letzteres sich volle 34 Jahre lang seine Stellung zu bewahren wusste (die letzte Auflage erschien erst 1820). Der zweite Theil dieses weit verbreitet gewesenen Lehrbuches ist der Sternkunde und mathematischen Geographie gewidmet, der erste dagegen handelt von der physischen Beschaffenheit der Erdrinde, der Länder und der Meere, dem Luft- und Dunstkreis, den Jahreszeiten und dem Klima, den physischen Veränderungen der Erdoberfläche, als welche Ueberschwemmungen, Erdfälle, Erdbeben und Vulkanausbrüche zusammengefasst werden, endlich noch von der physischen Geschichte des Erdballes. Höher jedoch als all' diese gewiss nicht unverdienstlichen Lehrmittel steht jener Cyklus von Vorträgen über physische Geographie, welche der grosse Königsberger Philosoph Kant an der dortigen Hochschule gehalten hat. Er selbst ist nicht dazu gekommen, sein Heft systematisch für den Druck zu bearbeiten, doch giebt es von demselben mehrere gute Ausgaben, die uns mit dem Inhalte dieser — nach den Aussagen von Zeitgenosen ungemein anregend wirkenden — Vorlesungen bekannt machen [110]. Wir begnügen uns, der bis in's Einzelne gehenden Würdigung zu gedenken, welche Zöllner den Kant'schen Arbeiten auf dem Gebiete der tellurischen Naturerforschung hat angedeihen lassen [111], und bemerken lediglich, dass nicht eben die Menge beigebrachten Stoffes, wohl aber die Eigenartigkeit der Betrachtungsweise in zahlreichen Einzelfällen — Erderschütterungen, Passatwinde, Thalbildung — das Auszeichnende in den verschiedenen Abhandlungen ausmacht, welche wir von dem genialen Denker erhalten haben. Wir werden uns zu demselben im Folgenden gar häufig zurückgeführt sehen. —

---

fleissiger Forscher hat trotzdem jedoch Aussicht, auf diesem für steril gehaltenen Felde Früchte einzuheimsen. Wie V. A. Huber [100] berichtet, trug im XIII. Jahrhundert ein gewisser Giraldus zu Oxford über „Topographia Cambriae“ vor, und zwar scheint es sich dabei nicht um ein blos isolirtes Vorkommniss zu handeln. Unter den Vorgängern des Galilei auf der mathematischen Lehrkanzel von Padua führt Favaro [101] auch einen sonst wenig bekannten Mann auf, der vom Senate beauftragt war, speziell über Hydrographie und Anemographie zu lesen, also über Gegenstände, die heute eben Theile der physischen Erdkunde darstellen. Es verlohnte wohl der Mühe, nach dieser Richtung hin einmal planmässig Untersuchungen anzustellen.

Bei der Besprechung des Jahrhunderts, in welchem wir uns jetzt befinden, werden wir uns insoferne kürzer fassen müssen, als dasselbe nur bedingt den Untergrund für eine pragmatische Geschichtserzählung abgeben kann. Denn einer unseres Erachtens ganz treffenden Bemerkung Peschel's zufolge sollte als untere Grenze für ein historisch-geographisches Werk gegenwärtig die Zeit des Erscheinens von Humboldt's „Kosmos" und von Berghaus' physikalischem Atlas angesehen werden. Wir, denen an diesem Orte der didaktische Zweck in erster, der wissenschaftlich-geschichtliche erst in zweiter Reihe steht, dürfen uns von dieser Bestimmung vielleicht ein wenig emancipiren, obwohl wir voll und ganz Peschel's Urtheil [112] über die genannten beiden Werke anerkennen: „Beide bilden einen Rechnungsabschluss, ein Inventar über fast alle einzelnen Fächer der naturwissenschaftlichen Erdkunde." Ganz natürlich müssen wir davon absehen, die Entwickelungsgeschichte der Einzeldisciplinen, wenn auch nur in groben Umrissen, schildern zu wollen; es muss hinreichend sein, eine Reihe besonders hervorragender Namen zu nennen. Laplace, Lagrange, Poisson sind die Begründer der „Mécanique céleste", eines Gesetzbuches, aus welchem für die Oberflächenform der Erde, ihre innere Beschaffenheit und die Meeresgezeiten gleichmässig die Normen entfliessen; die Oceanographie ist von Lubbock, Whewell und Maury zum Range einer Wissenschaft erhoben worden; Dove, Kämtz, Kupffer, Buys-Ballot schufen eine Meteorologie auf exakter Basis; von Hansteen, Gauss und A. v. Humboldt datirt die an Strenge keinem Theile der Physik nachstehende Theorie des Erdmagnetismus, der sich allmählich die von Franklin geahnte, von Steinheil und Lamont schärfer umrissene Lehre von der Erdelektricität an die Seite stellen durfte. Mit Hopkins beginnt, als eine englische Spezialität, die — im engeren Sinne so genannte — geophysikalische Schule, von deren Vertretern Airy, Stokes, W. Thomson, G. H. Darwin auch den deutschen Geographen wohl bekannt sind, und während diese Männer die dynamische Geologie unter Aufbietung der mächtigsten mathematischen Hülfsmittel förderten, zeichneten Poulett Scrope, Mallet, v. Seebach, De Rossi, Suess u. a. neue Wege für die Ergründung der vulkanischen und seismischen Phänomene vor. Die alte Frage nach der Entstehung des Erdkörpers in seiner jetzigen Gestalt auf feurigem oder nassem Wege, diese im Ausgange des vorigen Jahrhunderts nach ihren Anfangsstadien durch die Namen A. Werner's und Hutton's bezeichnete Frage, ist neuerdings in nahe Beziehung zu dem Probleme der Gebirgsbildung getreten und hat von den Resultaten der Experimentalgeologie (im Sinne Daubrée's und F. Pfaff's) erhebliche Unterstützung zu gewärtigen. Als umfängliche und selbstständige Wissenschaften stehen die Lehre von der geographischen Vertheilung der Pflanzen und Thiere vor uns, während es doch kaum hundert Jahre her ist, dass für diese letztere Disciplin Zimmermann [113] mit schüchterner Hand die ersten Grundlinien zu entwerfen versuchte.

Freilich tragen alle diese Bemühungen den Charakter der Spezialforschung, und ihre Ergebnisse haben der physischen Erdkunde als solcher erst mittelbar Nutzen gebracht. Die eigentlichen Koryphäen der Gesammtwissenschaft sind unleugbar zwei auf der Grenzscheide des neuen Jahrhunderts stehende Männer, Leopold v. Buch und Ale-

xander v. Humboldt. War auch der Erstgenannte der jüngere von beiden, so hat er doch eher als sein ihm kongenialer Freund angefangen, direkten Einfluss auf die Mitwelt zu üben, da er eher in der Lage war, die reifen Früchte seiner ausgedehnten Reisen dem Publikum zu Gute kommen zu lassen. Hatte schon die Beschreibung seiner Nordlandfahrt [114], bei welcher die lange angezweifelte Thatsache einer säkulären Oscillation der Festlandmassen zum erstenmale eine feste Gestalt annahm, das allseitigste Interesse erregt, so gab sein Werk über die canarischen Inseln [115], welches man nicht mit Unrecht als ein „standard work" der modernen erdphysikalischen Forschung bezeichnen könnte, den auf die Ergründung des inneren Zusammenhanges der tellurischen Erscheinungen gerichteten Studien eine ganz neue Richtung. Die meisterhafte Schilderung der meteorologischen Verhältnisse jener gesegneten Erdgegend ist wohl das erste Beispiel einer dem Individualcharakter des Landes angepassten Klimatologie; für die Pflanzengeographie boten die Tropengewächse ganz neue Anhaltspunkte dar; der glückliche Gedanke endlich, die Vulkane der Inselgruppe mit den Feuerbergen anderer Länder geometrisch sowohl wie ursächlich in Zusammenhang zu bringen*), realisirte in unvergleichlich besserer Weise den an sich richtigen Gedanken Buache's, dem derselbe nur eben nicht den treffenden Ausdruck zu geben vermocht hatte (s. o.). Von 1799 bis 1804 weilte Humboldt, dem Aimé Bonpland als treuer Arbeitsgenosse zur Seite stand, in Süd- und Mittelamerika und erwarb sich daselbst jenen Schatz von Erfahrungen, ohne welchen sein erst gegen den Lebensabend hin zur Vollendung gediehenes Riesenwerk des „Kosmos" eine gleiche Bedeutung nicht hätte gewinnen können. Es ist ja wahr, dass in dem Vierteljahrhundert, welches seit dem Abschluss dieses Werkes verstrichen ist, ganze Theorieen sowohl, wie noch mehr einzelne Anschauungen eine vollkommene Umwälzung über sich ergehen lassen mussten, allein, wenn dadurch auch mancher Abschnitt ein wenig veraltet sein mag, so wird der Kosmos als Ganzes gleichwohl noch für viele Jahrzehnte ein unentbehrliches Handbuch für jeden Freund der physikalischen Geographie bleiben, und dieser Umstand wird es rechtfertigen, wenn wir nachstehend einen kurzen Ueberblick über denselben geben. Das Werk [117] setzt sich zusammen aus vier Bänden: in dem ersten wird ein Gesammtbild von dem entworfen, was sich am Himmel und auf der Erde in naturwissenschaftlicher Hinsicht Wissenswerthes darbietet; der zweite ist geschichtlichen Inhaltes, und namentlich wird darin mit unübertroffener Feinsinnigkeit der Nachweis geliefert, wie aus dem blossen Beschauen neuer Dinge, z. B. fremder Pflanzenformen, der Trieb zur Naturbetrachtung sich entwickelte; den Inhalt des dritten Bandes bilden die physische und topographische Astronomie, während der vierte der Geologie im weitesten Wortsinne sich widmet. Schon vorher hatte der grosse Reisende durch seine populäre Schilderung besonders merkwürdiger Eindrücke und Reminiscenzen aus fernen Ländern einem grösseren Leserkreis Begeisterung für derartige Aufgaben einzuflössen

*) Das sechste Kapitel verbreitet sich [116] „über die Natur der vulkanischen Erscheinungen auf den canarischen Inseln und ihre Verbindung mit anderen Vulkanen der Erdfläche".

gewusst [118]. Streng wissenschaftlicher Natur ist auf der anderen Seite das grosse amerikanische Reisewerk [119], bei dessen Ausarbeitung sich Humboldt durch einen wahren Generalstab bedeutender Gelehrter (Bonpland, Kunth, Oltmanns, Gay-Lussac u. a.) unterstützt sah, und in die gleiche Kategorie gehören die drei Bände [120], welche die im reifen Mannesalter unternommene Reise nach Hochasien schildern. Wollte man mit geschichtlicher Treue die Verdienste im Detail registriren, welche sich Humboldt um die physische Erdkunde erwarb, man würde eine äusserst schwierige Aufgabe in Angriff zu nehmen haben; sehr viel ist nach dieser Richtung hin bereits geleistet durch die von Bruhns besorgte Lebensbeschreibung, deren Schlussband [121] den Mann der Wissenschaft zu kennzeichnen bestimmt ist; wenn wir erwähnen, dass für denselben G. Wiedemann den erdmagnetischen, Ewald den geologischen, Dove den meteorologischen, Grisebach den pflanzengeographischen Theil und Peschel die Erdkunde im Grossen und Ganzen übernommen hatten, so ist damit wohl genug gesagt. Drei Punkte aber müssen auch wir als besonders wichtige hervorheben: die Einführung des Begriffes der Isothermen, die Schaffung einer korrekten und bezeichnenden orographischen Terminologie und die Begründung des Systemes magnetischer Korrespondenzbeobachtungen. Schon diese drei Schöpfungen würden hingereicht haben, den Namen Humboldt's zu einem verehrungswürdigen zu machen.

Es dürfte sich empfehlen, gleich hier in unmittelbarer Anknüpfung an Buch und Humboldt der Vortheile Erwähnung zu thun, welche unserer Disciplin aus grossen und von entsprechenden Gesichtspunkten geleiteten wissenschaftlichen Reisen im Laufe der letzten Decennien erwachsen sind *). Auf Weltumsegelungen haben u. a. A. v. Chamisso, Horner und Ch. Darwin (s. u.) Gelegenheit zu wichtigen Bemerkungen und Verallgemeinerungen bekannter Thatsachen gewonnen, Spix und Martius haben uns das vordem wenig bekannte Innere des brasilianischen Kaiserstaates aufgeschlossen, Sabine umsegelte die Erde, ausschliesslich um geodynamische und magnetische Konstanten zu sammeln, Rüppell trug physikalische Instrumente und Beobachtungsmethoden tief nach Aethiopien hinein, worin ihm später D'Abbadie nachgefolgt ist, und Russegger durfte in einer Reihe von Gegenden exakte Messungen anstellen, welche seit Carsten Niebuhr kein wissenschaftlich gebildeter Europäer betreten hatte. War auch die grosse Exkursion Hansteen's und Erman's nach Nordasien wesentlich der Einsammlung erdmagneti-

*) Allerdings ist uns dabei die Pflicht, kurz zu sein, um so mehr auferlegt, als die Geschichte der modernen Entdeckungsreisen bei Peschel [122] eine zusammenhängende und lückenlose Darstellung erfahren hat. Nur einen kleinen Nachtrag hiezu wollen wir an dieser Stelle liefern, weil das Mitzutheilende einen deutlichen Beleg für die Thatsache liefert, dass grosse Neuerungen auf geistigem Gebiete häufig geradezu in der Luft liegen und sich auch unter den ungünstigsten äusseren Verhältnissen vorbereiten müssen. Unter den eingeborenen Begleitern Humboldt's in Südamerika ragt hervor der Ecuadorianer Cáldas, über den uns neuerdings von Schumacher höchst anziehende Mittheilungen gemacht worden sind [123]. Durchaus ein selbstgemachter Mann, wenn auch natürlich durch seinen Reisegefährten mächtig angeregt, hat derselbe während eines kurzen Lebens — er fiel 1816 als Opfer der Insurrektionskämpfe — eine Anzahl von Arbeiten geschaffen, die sich nach ihrer Tendenz und Ausführung auch neben denen Humboldt's noch sehen lassen dürfen.

scher Daten gewidmet, so hatte dieselbe doch auch für die anderen Zweige der physischen Erdkunde eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. Ueberhaupt hat Russland, dessen gigantischer Länderbesitz zur Erforschung zwingend auffordert, in dieser Richtung Vieles gethan, wie man am besten aus Mädler's sehr vollständiger Skizze [124] ersehen kann; Göbel am kaspischen Meere, Hofmann und Abich in Armenien, v. Middendorff im Taymirlande, Prshewalski in Ostturkestan sind klassische Zeugen dieser Rührigkeit. Von neueren Expeditionen, deren Zweck einzig und allein die Erweiterung unseres erdphysikalischen Wissens war, während das sonst vorwaltende Interesse der spezifisch geographischen Forschung bei ihnen zurücktrat, seien drei hier genannt: die von Desor und Escher v. d. Linth zur Ergründung der Heimath des Fönwindes nach Afrika unternommene Reise, der Winteraufenthalt der französischen Forscher Bravais, Lottin und Martins in Lappland, der in dem Letzterwähnten einen trefflichen Geschichtschreiber fand [125], und die von deutscher Seite in's Werk gesetzte Untersuchung der libyschen Wüste, in welche sich Rohlfs, Zittel, Ascherson und Jordan theilten [126]. In noch weit höherem Grade pflegen, wie Jedermann weiss, Polarfahrten die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Die ersten guten Nachrichten über die physikalischen Verhältnisse dieser unwirthlichen Zonen verdanken wir eigenthümlicherweise nicht eigentlichen Fachmännern, sondern dem Schiffsarzt Martens, der gegen Ende des XVII. Jahrhunderts seine auf mehrjährigem Besuch der nordischen Meere beruhende treffliche Beschreibung derselben veröffentlichte [127], und dem Kapitän Scoresby, dessen arktisches Werk heute noch eine Hauptquelle unserer Kenntnisse bildet [128]. Durch Kane, Hayes, Torell, Nordenskjöld, Nares, Koldewey, Bessels und Andere sind wir mit den Zuständen der Eismeerländer verhältnissmässig genau bekannt geworden, doch bleibt auch hier immer noch genug zu thun übrig, und es ist deshalb hoch erfreulich, dass in Konsequenz der von dem früh verstorbenen Weyprecht ausgegangenen Vorschläge [129] seitens fast aller grösseren Kulturnationen mit der Anlegung planmässig organisirter polarer Beobachtungsstationen energisch vorgegangen wurde. — In allerneuester Zeit haben fachmännisch gebildete Geographen auf Grund gründlich durchgeführter Autopsie die physikalische Erdkunde grösserer Länderräume in systematischer Form darzustellen begonnen, und diese Werke statuiren einen bedeutsamen Fortschritt in theoretischer, wie in methodologischer Hinsicht. Mag auch Burmeister's Schilderung der La Plata-Länder [130] dem Ideale weniger entsprechen, so thun diess um so mehr Rein's und Ratzel's Werke über Japan [131] und Nordamerika [132]. Ganz besonders ragt aber v. Richthofen's China hervor, von dem einstweilen der erste, zweite und vierte Band vorliegen, denn jenes merkwürdigen und fast jungfräulichen Landes Oberflächenbeschaffenheit bot dem Kennerblicke des berühmten Geologen so viel des Neuen und Unbekannten dar, dass seine Wahrnehmungen uns zur Modifikation so mancher anscheinend fest begründeten Theorie genöthigt haben. Von diesem Buche [133] durfte Wappäus mit Recht behaupten [134]: „Wer sich der Zeit noch erinnert, als v. Buch's Werk über die canarischen Inseln erschien und in den geologischen Forschungen der damals Lebenden eine neue und fruchtbare Richtung hervorrief, wird eines ähnlichen Eindruckes sich bewusst werden, wenn er die

vorliegende, grossartige Arbeit auch nur in ihren hervorragenden Abschnitten durchmustert hat" *). —

Getreu unserem Principe wenden wir uns von diesen die Vervollkommnung und Bereicherung unseres geophysikalischen Wissens anstrebenden Werken jenen literarischen Leistungen unseres Jahrhunderts zu, welche sich die Verbreitung desselben zum Ziele gesetzt haben. In chronologischer Reihenfolge zählen wir hier auf die Werke von G. F. Parrot [135] **), Desmarest [137] (diess in lexikographischer Anordnung) und F. Hochstetter [138]. Im Jahre 1822 kam Carl Ritter's in mehr als einer Hinsicht bahnbrechendes Werk [139] an das Licht. Wir lassen dessen „vergleichende" Tendenz einstweilen bei Seite und verweilen nur für einen Augenblick bei der neuerlich vielfach diskutirten Frage, ob durch dieses Werk und andere Schriften des grossen Mannes gerade auch der physischen Erdkunde im engeren Sinne eine nennenswerthe Förderung zu Theil geworden sei. Wir glauben diese Frage für Ritter ganz ebenso wie für den im Ganzen auf gleichem Boden stehenden Zeune [140] bejahen zu sollen, und stützen uns bei dieser Meinungsäusserung wesentlich auf den schönen Essay von Marthe [141], worin besonders auf den grossen und sehr zu Gunsten Ritter's sprechenden Unterschied in der Behandlung der Orographie hingewiesen wird, der zwischen Ritter's „Europa" und dem bald darauf herausgekommenen, sonst ganz tüchtigen Handbuch von Link [142] konstatirt werden kann; noch ungleich dürftiger ist die Darstellung dieser Verhältnisse in dem verbreiteten Sammelwerke von Cannabich, dessen erster Band [143] freilich nur bedingt als eine physische Erdkunde gelten kann. Bei einer anderen Gelegenheit sagt Marthe [144]: „Von den Lehrbüchern Ritter's muss abgesehen werden und es muss auch besonderes Gewicht gelegt werden auf eine Reihe von ihm herrührender episodischer Monographieen, die sich durch sämmtliche Bände seiner grossen Erdkunde hindurchziehen und die räumliche Verbreitung von Thieren, Pflanzen und Gesteinsarten, die besonders für den menschlichen Haushalt bedeutungsvoll sind, zum Gegenstande haben. Auch hierdurch ist Ritter ein thatkräftiger Mitarbeiter für die physische Erdkunde geworden." Damit harmonirt das, was uns der von Ritter mit dem bekannten Mineralogen Hausmann geführte Briefwechsel an die Hand giebt; man vergleiche beispielsweise in diesem die Betrachtungen über die Gebirge am Rhein und an der Lahn, deren Plastik „mit ihren fast mathematisch regulirten Gestaltungen" für die Weinkultur einen massgebenden Faktor zu bilden scheine [145], oder auch über die Quellbildungen in Kleinasien [146]. Nehmen wir nach dieser Einschaltung den Faden unserer literargeschichtlichen Erzählung wieder auf. Dem Jahre 1830 entstammen zwei bedeutendere didaktische Ar-

---

*) Der grossartigen, aber ganz spezifisch aus oceanographischem Interesse hervorgegangenen Schiffsexpeditionen der neuesten Zeit, durch welche die Namen „Porcupine", „Tuscarora", „Novara", „Challenger", „Gazelle", „Travailleur" zu hoher Berühmtheit gelangt sind, gedenken wir hier nur im Vorübergehen, da die Physik des Meeres uns noch mehrfach Gelegenheit verschaffen wird, uns mit ihnen zu bechäftigen.

**) Auch von dem älteren Bruder dieses fleissigen Schriftstellers, Chr. F. Parrot, ist ein übrigens weniger bedeutendes Werkchen [136] über den gleichen Gegenstand vorhanden.

beiten, die Lehrbücher von Muncke [147] — der übrigens auch in der durch ihn besorgten Neu-Auflage des physikalischen Wörterbuches von Gehler eine Menge Beiträge zu unserem Fache lieferte — und von J. C. E. Schmidt [148]. Der zweite Band des letzteren Werkes, welches mit grossem Erfolg auf die exakte Behandlung physisch-geographischer Themen hinarbeitet, theilt den Lehrstoff in die folgenden Hauptabtheilungen ein: Allgemeine Uebersicht der Erdoberfläche, die Atmosphäre, die Erdtemperatur im Inneren wie an der Aussenseite, Bestandtheile des Erdkörpers (Geologie), Dichtigkeit der Erde, Veränderungen an der Oberfläche und Hypothesen über Entstehung und Umbildung des Erdballes, Erdmagnetismus. Wenn schon der Leser unserer Zeit in dieser Eintheilung kein rechtes System wird erblicken können, so thut dieser Mangel dem strengwissenschaftlichen Gehalte des Buches doch kaum etwelchen Eintrag, und H. Wagner durfte jüngst mit Fug behaupten 149), man erkenne in jenem so recht, wie sich die Geophysik auch im Rahmen eines Lehrbuches fördern lasse. Eine recht übersichtliche und gut geordnete Anleitung ist ferner diejenige K. Schmidt's [150], wenn sie sich auch durchweg nur auf Definitionen und kurze Beschreibungen beschränkt. v. Raumer's „Allgemeine Geographie" [151] erschien 1835, das folgende Jahr brachte zwei französische Leitfäden von Lecoq [152] und L. C. Prévost-Bassano [153], sowie das ein sichtliches Ringen nach systematischer Gestaltung bekundende Lehrbuch von Fröbel [154]. Wieder einen weiteren Abschnitt markiren Fr. Hoffmann und Berghaus. Ist das hochinteressante Werk des Ersteren [155] auch nicht ganz gleichmässig gearbeitet, wie denn z. B. die Lehre von den Quellen darin nicht weniger als 116 Seiten umfasst [156], so haben wir doch alle Ursache, dem trefflichen v. Dechen für die Herausgabe desselben, das ursprünglich nur ein Kollegienheft darstellte, Dank zu wissen. Gerade diese Vorlesungen haben dereinst auf die Studirenden der Berliner Universität eine gewaltige Anziehungskraft ausgeübt; übrigens hat uns v. Richthofen an dem konkreten Beispiele der Insel-Klassifikation gezeigt [157], wie viel wir auch heute noch von Fr. Hoffmann lernen können. Gleichzeitig mit einem so vorzüglichen Lehrbuche empfieng die studirende Welt das zweite unentbehrliche Lehrmittel des physikalisch-geographischen Unterrichtes, den aus 90 Karten bestehenden Atlas von Berghaus [158]. Damit sind wir denn an jener Grenze angelangt, welche nach Peschel's Ansicht (s. o.) die eigentlich geschichtliche Zeit von der Gegenwart trennt*). Doch sei noch daran erinnert, dass diese letzte Periode auch Zeitschriften hervorgebracht hat, die eigens der wissenschaftlichen Erdkunde dienen sollten. Die von Berghaus im Vereine mit K. F. V. Hoffmann geleitete „Hertha" [162] nahm allerdings auch anderweite Artikel auf, dafür aber koncentrirten sich die von Fröbel und Heer herausgegebenen Mittheilungen völlig auf unser Fach [163]. Leider haben es dieselben

*) Wenn wir die in die soeben abgeschlossene Periode fallenden Unterrichtsbücher der französischen Mathematiker Lacroix [159] und Léon Bezout [160] blos in dieser Randnote aufführen, so geschieht diess darum, weil in ihnen das physikalische Element sehr gegen das mathematisch-astronomische zurücktritt. Hingegen darf wohl beiläufig des grossen Werkes v. Hoff's [161] gedacht werden, welches man ja, sobald man sich nicht allzu ängstlich an die strikte Wortbedeutung hält, ebenfalls als ein didaktisches bezeichnen kann.

nur zu einem einzigen Bande gebracht, doch ist dessen Inhalt reich genug, um uns das frühe Eingehen eines so tüchtigen Journales bedauern zu lassen. Da finden wir den Entwurf eines detaillirten Systemes der geographischen Disciplinen, eine allgemeine Orographie, eine Sammlung barometrischer Höhenmessungen, Beiträge zur Gebirgskunde der Schweiz, eine Uebersicht über die Gletschertheorieen und ein paar interessante Studien zur Pflanzen- und Thiergeographie, welche namentlich den Einfluss des Alpenklima's auf Organismen betreffen. Ein gleiches Ziel hatten sich die seit 1842 erscheinenden „Annales des sciences géologiques“ gesteckt.

Bezüglich der allerneuesten Zeit können wir, da unsere Aufzählung durchaus keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, uns kurz fassen. Ein dauerndes Denkmal in der neuesten Epoche der Geophysik haben sich die Gebrüder Schlagintweit, deren einer sein feuriges Interesse an der Hinausrückung der Grenzen unserer Erkenntniss bald nachher mit dem Leben bezahlen sollte, durch ihre alpinen Untersuchungen [164] gesetzt. Sowohl die generellen Auffassungen, zu welchen uns dieselben emporleiten, sind von bleibendem Werthe, wie auch nicht minder das gründliche Studium der physikalischen Verhältnisse einzelner bemerkenswerther Gebirgsstöcke, z. B. der Kaiser- und Wetterstein-Gruppe. Von Lehrbüchern nennen wir zuerst B. Studer's grosses und durch stete Betonung des literarischen Elementes ausgezeichnetes Werk [165], sodann die physische Geographie des jüngeren v. Klöden [166] als Bestandtheil seines umfänglichen Systemes der Erdkunde. E. Reclus' physikalische Erdbeschreibung [167], die durch Ule auch den Deutschen zugänglich gemacht wurde, zeichnet sich durch die Grossartigkeit der darin entwickelten Perspektiven aus. Von englischen Arbeiten verdient namhaft gemacht zu werden das liebenswürdige Büchlein von Mary Sommerville [168], das allerdings mehr den Charakter einer naturwissenschaftlichen Länderbeschreibung, als jenen einer Physik der Erde trägt (Meteorologie, Erdmagnetismus und Luftelektricität sind z. B. in Einem Kapitel vereinigt), ferner das auf einer höheren Stufe stehende Werk John Herschel's [169] und, soweit blos die Zwecke ganz elementarer Unterweisung in Frage kommen, die Lehrbücher von Geikie *) [170] und Blanford [171]. Die bezüglichen Schriften des Engländers Canstedt und des Franzosen Cortambert müssen wir uns begnügen, einfach zu nennen, weil wir keine nähere Kenntniss von ihnen zu erlangen vermochten. Das Gleiche gilt von zwei wohl ganz verdienstlichen, wenn auch mehr in das Gebiet der populärwissenschaftlichen Literatur gehörigen Büchern des Zürichers R. Meyer: „Astronomische und physikalische Geographie“ (Zürich 1852) und „Physik der Schweiz“ (Leipzig 1854). Nicht minder registriren wir hier aus gleichen Gründen kurz die folgenden deutschen Werke: Zamminer, „Die Physik der Erdrinde und der Atmosphäre populär dargestellt“ (Stuttgart 1853); Landgrebe, „Grundzüge der physikalischen Erdkunde“ (2 Bände, Leipzig 1861—62); Winkler, „Leitfaden zur physikalischen und mathematischen Geographie“ (Dresden 1875). In mancher

*) Die Trübner'sche Verlagsbuchhandlung hat eine deutsche Uebersetzung dieses höchst zweckmässigen Grundrisses in ihre bekannte Kollektion aufgenommen.

Hinsicht originell ist die „Physikalische Geographie, fasslich dargestellt,“ von Wittwer, dem bekannten Kommentator des Humboldt'schen Kosmos (Leipzig 1858), nicht minder, namentlich, soweit die oceanographischen Partieen in Frage kommen, Keith Johnston's „Handbook of physical geography“ (Edinburgh und Lond. 1870) und Houghton's „Six lectures on physical geography“ (Dublin 1882). Zu der Klasse der Elementarbücher im Sinne Blanford's sind noch zu rechnen: Hughes „A class book of physical geography, revised by Williams“ (Lond. 1882) und Hugues, „Corso di geografia fisica ad uso dei licei“ (Torino 1881). Vorwiegend vom Standpunkte des Physikers aus, wennschon ohne andere als die einfachsten mathematischen Hülfsmittel zur Anwendung zu bringen, behandelt J. Müller die Physik des Erdkörpers als Unterfall einer allgemeineren kosmischen Physik [172], wogegen das neueste grössere Elaborat der Fachliteratur, Leipoldt's physische Erdkunde [173], sich schon dadurch als ein mehr geographisches kennzeichnet, dass es theilweise aus den von Peschel gehaltenen Universitätsvorträgen erwuchs*). Wer geringere Anforderungen stellt und lediglich einen Ueberblick über die die Wissenschaft bewegenden Fragen zu bekommen wünscht, dem sind die Grundlinien von Cornelius [174] bestens zu empfehlen, oder auch das die physische Erdkunde in deren weitestem Umfang geradezu erschöpfende Werkchen der drei österreichischen Forscher Hann, v. Hochstetter und Pokorny [175]. Noch populärer verfahren Lippert [176] und Geistbeck [177], von denen namentlich der letztere eine recht gute Kompilation bietet. Die ungarische Sprache besitzt neuerdings ein Lehrbuch der physischen Geographie von F. Roth [178], und für die Länder slavischer Zunge dürfte das lieferungsweise erschienene Werk von Studnička [179] sehr nutzbringend werden. Wir Deutsche dagegen dürfen, wie wir zu unserer Befriedigung berichten können, in Bälde einem Handbuch aus der erprobten Feder Supan's entgegensehen; dem eigentlichen Fachstudium aber werden in noch höherem Grade nach ihrer Vollendung jene Spezialwerke entgegenkommen, welche unter der Aufsicht Ratzel's erscheinen sollen. Von dem Herausgeber selbst bearbeitet liegt uns die Anthropogeographie vor, während Hann die geographische Meteorologie bereits lieferte, v. Boguslawski die Meereskunde, Drude die Pflanzen-, Vetter die Thiergeographie liefern wird. — Atlanten zur physischen Erdkunde giebt es nunmehr in grösserer Anzahl, man denke nur an die Namen Glaser, Bromme, Stieler, Peschel-Andree u. s. w. Auch hat man sich mit solchen kartographischen Darstellungen nicht begnügt, sondern neuerdings auch damit begonnen, erläuternde Bilder und Modelle den Lernenden in die Hand zu geben. Simony, Letoschek, Supan, A. Kirchhoff und A. Heim haben auf diesem Gebiete einen bedeutsamen Anfang gemacht. —

Von der „vergleichenden“ Geographie ist bislang höchstens nur ganz gelegentlich die Rede gewesen, und doch wird mancher unserer Leser erwarten, von dieser Stelle einen Aufschluss über unsere eigene

---

*) Dieses Werk hat, obgleich seine Aufnahme in kritischen Kreisen nicht immer die günstigste war, trotzdem unleugbare Verdienste. Auch wir verdanken ihm viel und werden uns öfter darauf berufen, freilich mit Umgehung des darin zu Tage tretenden Bestrebens, für verwickelte Erscheinungen sofort neue Erklärungen zu geben.

Stellung zu diesem von der Ritter'schen Schule mit besonderer Liebe gepflegten Studiengebiete zu erhalten. Wir haben oben gesehen, dass Varenius sich dieses Ausdruckes zuerst bediente, während Ritter denselben verallgemeinerte und zur Basis eines selbstständigen geographischen Systemes erhoben zu haben glaubte. Dem gegenüber behauptete Peschel, als er dem Worte einen neuen und zwar mehr einen physikalischen Sinn beilegte [180], sein Vorgänger habe Probleme der vergleichenden Erdkunde nicht nur nicht zu lösen, sondern nicht einmal richtig zu stellen vermocht [181]. Es ist schwer, sich aus diesem Dilemma herauszufinden und eine sachgemässe Definition des vielumstrittenen Kunstwortes zu geben, das beweist u. a. der neueste Versuch v. Hellwald's [182]. Peschel selbst hat wohl einzelne begeisterte Anhänger und Nachahmer gefunden, allein es ist seinem Andenken auch der herbste Widerspruch nicht erspart geblieben, und P. Lehmann z. B. glaubt den Problemen Peschel's jedweden günstigen Einfluss auf die Bereicherung unseres morphologischen Wissens absprechen zu sollen [183]: „sie sind," so drückt er sich aus, „der Versuch eines geistreichen Mannes, eine Physiognomik à la Lavater auf dem Angesichte der Erde zu begründen." Ist diess Urtheil nun auch unseres Erachtens viel zu hart ausgefallen*), so können wir doch auch selbst nicht in Abrede stellen, dass dem Begriffe des Vergleichens bei Peschel etwas Mystisches anhaftet, und wir können ebensowenig sagen, dass die Lektüre der philosophisch-geographischen Schriften Kapp's [186], in welchen noch dazu die physische Erdkunde sehr hinter der politisch-kulturgeschichtlichen zurücktritt, uns auf andere Gedanken gebracht hätte. Fasst man dagegen das bedenkliche Wort in dem einfachen und natürlichen Sinne auf, wie es A. v. Humboldt im Kosmos thut, so schwinden alle Schwierigkeiten; mit dieser Interpretation deckt sich auch die von Schouw gegebene, die in ihrer negativen Formulirung also lautet [187]: „Compendia, quae nomen geographiae physicae in fronte gerunt, notiones tantum generales hujus scientiae de mari, montibus, fluminibus, climate caeterisque continent; non vero, orbe terrarum in partes naturales diviso, has partes singulas tractant et inter se conferunt." In solcher Weise die Erscheinungen der einen Erdgegend zu denen einer anderen in Parallele stellend sind bereits Forster, A. v. Humboldt, L. v. Buch vorgegangen, ehe man noch nach einer methodologischen Begriffsbestimmung für ihre Thätigkeit gesucht hatte, und auch Ch. Darwin hat diese Untersuchungsmethode zu hoher Ausbildung gebracht**). Halten wir diess fest, so erkennen wir, dass der uns schon

*) Wir freuten uns, im neuesten Wagner'schen Jahrbuche konstatiren zu können, dass unsere schon vorher niedergeschriebenen Sätze völlig jenen Anschauungen entsprechen, welche der verdiente Vertreter der geographischen Methodenlehre dortselbst niedergelegt hat [184], um so mehr, da Niemand H. Wagner allzugrosser Voreingenommenheit für Peschel wird zeihen wollen. Man wird übrigens auch mit Vortheil den geistreichen Essay A. Kirchhoff's über die drei Koryphäen der deutschen Erdkunde [185] zu Rathe ziehen.

**) Wer sich darüber recht klar werden will, der lese das Schriftchen [188] nach, in welchem Marinelli die geographischen Verdienste des grossen Naturforschers mit fachmännischem Auge würdigt. Darwin vergleicht die patagonischen Gletscher mit denjenigen der europäischen Alpen; er stellt die klimatischen Eigenthümlichkeiten der beiden irdischen Hemisphären einander gegenüber; wie sich unter verschiedenen Himmelsstrichen die Beziehungen zwischen den Erd-

bekannte Fr. Hoffmann, in dessen Erstlingsschrift [189] der vergleichende Gedanke auf das Unzweideutigste hervortritt, kurz und bündig sagen durfte [190]: „Die physikalische Geographie ist vergleichende Erdkunde; die einzelnen Verhältnisse in der Natur der Länder, Meere und Himmelsstriche bieten das Klassifikationsprincip dar.“ In ähnlichem Sinne haben auch wir ein Recht, die physikalische Geographie, so wie wir sie im weiteren Verlaufe darzustellen gesonnen sind, als eine komparative zu bezeichnen, ohne dass es uns jedoch beigehen könnte, damit im Entferntesten den Begriff von etwas Auszeichnendem verbinden zu wollen *). —

Noch ein paar Zeilen müssen wir, ehe wir uns der Schlussbetrachtung zuwenden, einer Unterabtheilung unseres Wissenszweiges widmen: der wissenschaftlichen Landeskunde. Das Bedürfniss nach einer solchen hat man an manchen Orten schon vor geraumer Zeit empfunden, und ihm verdanken wir das erste und zugleich in seiner Art vollkommene Werk dieser Art, welches vor nunmehr fast 200 Jahren Johann Weichard Freiherr v. Valvasor über sein Vaterland Krain veröffentlichte [192]. Gerade dieses Land, welches Abraham a Sta. Clara „das Land der Wunder“ nannte — man denke nur an die Quecksilbergruben von Idria, an die Adelsberger Grotte und an den für den Karstcharakter der Gebirge bezeichnenden intermittirenden Wasserstand des Zirknitzer See's —, musste wie kaum ein anderes zu einer so eingehenden physikalisch-ethnologischen Beschreibung einladen, wie sie eben Valvasor gegeben hat. Bald nachher skizzirte der Luzerner Cappeler seinen Plan, eine monographische Schilderung des heimathlichen Pilatus-Berges zu liefern, in einem (unter'm 25. December 1725 geschriebenen) Briefe an Scheuchzer, wie folgt: „1°. Montis Situs, Nomen, Fama. 2°. Chorographia viciniarum montis. 3°. Iconographia et Orthographia. 4°. Origo. 5°. Aerographia, Meteora etc. 6°. Hydrographia, Fontes, Torrentes, Lacus, etc. 7°. Soli et Subterraneorum descriptio, etc. 8°. Botanica. 9°. Animalia. 10°. Spectra et fabulosa.“ Diess deutet auf klare Conception einer, wenn auch natürlich in das Zeitkostüm gekleideten physischen Landeskunde; A. v. Haller hat sich über das erst weit später aus den nachgelassenen Papieren des Verfassers herausgegebene Werk (Mauricii Antonii Cappelerii Pilati montis historia, ab amico in lucem protracta atque academicis Helvetiae societatibus sacra, Basileae 1767) in seiner „Bibliothek der Schweizergeschichte“ sehr günstig ausgesprochen. Aus den zahlreichen Literaturprodukten des vergangenen Jahrhunderts, die als hier einschlägig gelten können, heben wir hervor Pallas' Arbeiten für Theile Russlands [193], sowie diejenigen von J. A. Cramer für die Harzgegend [194] und von Goldfuss-Bischof für das Bayreutherland [195], welch' letztere allerdings erst nach 1800 gedruckt wurde. Später hat in dieser Weise Pleischl

---

stössen und dem Zustand der Atmosphäre gestalten, diess festzustellen, reizt seinen Forschungstrieb. Und so in vielen anderen Dingen.

*) Selbstverständlich kann es, sobald man sich auf diesen Standpunkt stellt, nicht schwer halten, auch unter älteren geographischen Schriftstellern Leute ausfindig zu machen, die sich mit „vergleichenden“ Studien der bezeichneten Art beschäftigten. So mag wohl auch Tollin ganz Recht haben, wenn er [191] seinen Helden Michael Servet ob der in dessen Ausgabe des Ptolemäus durchgeführten Betrachtungsweise als einen Vorläufer C. Ritter's feiert.

die Landeskunde Böhmens [196] und Pusch (1790—1846) diejenige Polen's [197] bearbeitet. Aus der Fluth neuerer Publikationen ragt hervor Guthe's Monographie der Welfenländer [198]; an die Seite dürfte dieser Schrift zu stellen sein, was Wittwer in dem durch König Max II. in's Leben gerufenen Prachtwerke „Bavaria" und G. Karsten in lokalen Sammelschriften Schleswig-Holstein's niedergelegt haben. Will man auch von ausserdeutschen Ländern einen Beleg beigebracht haben, so sei auf Hull's physikalische Geographie von Irland [199] verwiesen. Vor ganz Kurzem nun hat R. Lehmann sich an die dankenswerthe Aufgabe gemacht, das Wesen der wissenschaftlichen Landeskunde schärfer, als vordem geschehen, zu präcisiren [200]. Es ist wesentlich das Bodenrelief, wie es sich unter der modellirenden Einwirkung von Luft und Wasser gestaltet hat, welches für den Geographen Interesse besitzt. Die Witterungslehre im Allgemeinen stellt für eine gewisse Gegend die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse fest und knüpft eventuell daran eine Lokalprognose; der Geograph dagegen in seiner Eigenschaft als Vertreter der landeskundlichen Forschung hat zuzusehen, wie unter den kombinirten Einflüssen des Bodenreliefs, der Bewaldung, der menschlichen Kulturen u. s. w. dieses theoretisch bestimmte Klima sich abändert, und gleichzeitig studirt er die klimatischen Existenzbedingungen der in seinem Territorium verbreiteten Organismen, zu deren näherer Kenntniss er sich das Material vom botanischen und zoologischen Systematiker verschafft. Diese Andeutungen mögen genügen, um die nahen Wechselbeziehungen zwischen physikalischer Geographie und wissenschaftlicher Landeskunde in's richtige Licht zu stellen; es steht zu hoffen, dass die vom II. deutschen Geographentage niedergesetzte permanente Kommission zur Förderung der letztgenannten Disciplin durch die eifrige Arbeit, in welcher wir sie bereits begriffen sehen, auch den Interessen der mütterlichen Wissenschaft, der Erdphysik, Vorschub leisten werde. —

Nachdem wir somit der im Eingange übernommenen Pflicht, einen Ueberblick über die allmähliche Entwickelung der physikalisch-geographischen Uebergangswissenschaft zu liefern, nach Möglichkeit nachzukommen uns bestrebt haben, übrigt es uns noch, darzulegen, nach welchen Grundsätzen wir den ungeheuren Stoff, den es zu verarbeiten gilt, systematisch zu durchschalten suchten. Von vorne herein erklären wir auf das Bestimmteste, dass wir auf principielle Erörterungen über die Stellung unserer Wissenschaft zu den geographischen Schwesterdisciplinen und zu der Erdkunde als solcher uns einzulassen weder vermögend noch auch gewillt sind; wer sich nach dieser Richtung hin orientiren möchte, der lese die methodologischen Referate H. Wagner's im achten und neunten Bande des geographischen Jahrbuches nach. Dort wird er finden, welche Ansichten und Vorschläge von einer Anzahl gelehrter Männer ausgegangen sind, von denen wir hier die Italiener Dalla Vedova und Marinelli, die Niederländer Bos und Dozy, den Dänen Löffler, die Deutschen Wappäus, v. Richthofen*), C. Neumann, Marthe, W. Cramer, Ratzel, W. Götz und endlich Wagner selber nennen wollen. Noch erscheinen uns die durch einander

*) Vergl. dessen akademische Antrittsrede: Aufgaben und Methoden der heutigen Geographie. Leipzig 1883.

wogenden Theorieen zu wenig feste Gestalt angenommen zu haben, als dass wir unser eigenes Thun durch dieselben maassgebend beeinflussen lassen könnten. Eine grosse Anzahl von Bezeichnungen existirt für unser Fach: man spricht von physischer und physikalischer Geographie, tellurischer oder Geophysik (Physik der Erde); bei den romanischen Nationen ist der Name „Physique du globe“ ein beliebter geworden, der von Saigey [201] und Quetelet*) in Aufnahme gebracht worden ist. Für uns sind alle diese Ausdrücke so gut wie synonym, und wir glauben unsere Berechtigung zu dieser Auffassung leicht durch eine indirekte Beweisführung erhärten zu können, indem wir nämlich darauf hinweisen, wie wenig glücklich B. Studer's Versuch [203] ausgefallen ist, zwischen der physischen Erdkunde, der physikalischen Erdkunde und der Erdphysik einen erkennbaren Unterschied zu stipuliren. Auch Zöppritz hat [204] mit glücklichem Schlage den gordischen Knoten gelöst und seine bekannten vortrefflichen Jahresberichte, die sich ganz genau über denselben Stoff verbreiten, wie unser Buch, als geophysikalische bezeichnet. In der That: die Methode, nach welcher gearbeitet wird, ist eine physikalische, die Objekte, an welchen diese Methode sich versucht, sind geographische, es lässt sich also die Geophysik von der physikalischen Erdkunde begrifflich gar nicht trennen. Allenfalls liesse sich sagen, dass der erste Ausdruck sich besser empfiehlt, solange von der Erde als Weltkörper und von ihrer inneren Beschaffenheit gehandelt wird, dass dagegen die ältere Bezeichnung dann mehr am Platze ist, wenn die Oberfläche unseres Planeten den Betrachtungsgegenstand bildet; diesem Gedanken glaubten wir insoferne Rechnung tragen zu sollen, als wir für die Aufschrift dieses Lehrbuches den Doppeltitel wählten. Indess kann sich Niemand darüber täuschen, dass selbst bei Zugrundelegung dieses Scheidungsprincipes die Grenzlinien beider Gebiete in ununterbrochenem gegenseitigem Ineinanderfliessen begriffen sind und sein müssen. Ein mächtiger Bundesgenosse für diese unsere Auffassung ist uns, nachdem Vorstehendes schon längst niedergeschrieben war, in W. Wundt, dem berühmten Vertreter der philosophischen Methodenlehre, erstanden, der im II. Bande seiner Logik (Stuttgart 1883, S. 228) sich also vernehmen lässt: „Die Geophysik ist derjenige Zweig der Astrophysik, welcher der vollkommensten Ausbildung fähig ist, so dass hier das praktische Bedürfniss zu einer Theilung in verschiedene Zweige geführt hat. Unter ihnen nimmt die physikalische Geographie die Stelle einer allgemeinen Geophysik ein, indem sie von den allgemeinsten Eigenschaften des Erdkörpers und ihren wechselseitigen Beziehungen Rechenschaft zu geben sucht. Sie stützt sich dabei theils auf die speziellen Theile der Geophysik, welche sich nach einzelnen Seiten hin mit den physischen Eigenschaften der Erde beschäftigen, wie Meteorologie und Klimatologie, Chorologie und Geologie; theils verbindet sie sich mit der organischen Naturgeschichte und bildet so die besonderen Disciplinen der Pflanzen-, Thier- und Anthropogeographie. Hier berührt sich aber wieder die Geologie mit

*) Der berühmte belgische Geophysiker hat allerdings ein selbstständiges Werk über sein Lieblingsfach nicht erscheinen lassen, indess kann man seine generellen Ideen darüber wohl ebensogut aus anderen seiner Schriften kennen lernen, am besten aus seiner Witterungskunde Belgiens [202].

der Chemie, die Pflanzen- und Thiergeographie mit der Biologie, und die Anthropogeographie tritt in ein näheres Verhältniss zu den Geisteswissenschaften, insbesondere zur Geschichte und Völkerkunde.“

Die systematische Gliederung des Lehrstoffes ist demgemäss eine sehr einfache. Ein erster grösserer Abschnitt wird die kosmische Stellung unseres Erdkörpers zum Gegenstande zu nehmen haben, doch ist hiebei — und hierin weichen wir vollbewusst von zahlreichen Autoren ab — die physische Astronomie nur in dem engen Rahmen zu behandeln, den uns die ausschliessliche Rücksichtnahme auf terrestrische Fragen von selbst darbietet*). Ebenso haben wir im zweiten Abschnitte, worin wir die Oberflächenform der Erde und ihre Bewegung im Raume besprechen, darauf Bedacht zu nehmen, dass wir nicht allzutief in das freilich nahe angrenzende Gebiet der mathematischen Geographie hineingerathen. Die geologischen und geodynamischen Kapitel bilden den dritten, die Lehren von den magnetischen und elektrischen Erdkräften den vierten Hauptabschnitt. Zweifelhaft kann man darüber sein, ob nunmehr die Luft- oder die Wasserhülle der Erde an die Reihe zu kommen habe. Beide stehen ja in den mannigfaltigsten Wechselbeziehungen zu einander, allein uns schien die Erwägung von durchschlagender Bedeutung zu sein, dass nach der besten der umlaufenden Theorieen die Meeresströmungen nur Spiegelbilder der atmosphärischen Strömungen sind, und so mussten wir uns entschliessen, die Oceanographie der Atmosphärologie nachzustellen. An siebenter Stelle erörtern wir die Oberflächenveränderungen, welche aus dem Kampfe zwischen Meer und Festland resultiren, an achter schildern wir die Eigenschaften der festen Bestandtheile unserer Erdoberfläche, sowie der über die Erdfeste sich erstreckenden Süsswasserbedeckung. Dass der neunte und letzte Abschnitt der physischen Geographie der Organismen vorbehalten bleibt, versteht sich von selbst; in der Vorrede sind aber die Gründe beigebracht, welche uns veranlasst haben, dieser Schlussabtheilung nur einen so beschränkten Raum zuzugestehen. — Die einzelnen Kapitel, in welche wiederum jeder dieser grossen Abschnitte zerfällt, können im Inhaltsverzeichniss nachgesehen werden.

[1] Zeller, Die Philosophie der Griechen. 1. Band. Tübingen 1844. S. 179. — [2] Diels, Doxographi graeci, Berolini 1879. — [3] Ibid. S. 181. — [4] M. Sartorius, Die Entwickelung der Astronomie bei den Griechen bis Anaxagoras und Empedokles in besonderem Anschluss an Theophrast, Halle 1883. S. 6. — [5] Ibid. S. 49. ff. — [6] Ibid. S. 25 ff. — [7] Ibid. S. 32 ff. — [8] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Alexander von Humboldt und Carl Ritter, München 1877. S. 64. — [9] Berger, Zur Entwickelung der Geographie der Erdkugel bei den Hellenen, Grenzboten, 39. Jahrgang. S. 412. — [10] Peschel-Ruge. S. 73. — [11] Ibid. S. 67. — [12] Haeser, Lehrbuch der Geschichte der Medicin und der epidemischen Krankheiten, 1. Band, Jena 1875. S. 144. — [13] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 132. — [14] Käst-

*) Die Astronomie ist ebenso wie die Geologie eine selbstständige Wissenschaft, und es kann deshalb in einem Lehrbuche der physischen Erdkunde ohne schwere Schädigung der Sache selbst keiner von beiden eine bevorzugte Stelle eingeräumt werden; sie sind für uns blos Hülfswissenschaften. Man vergleiche über den inneren Zusammenhang der an sich verschiedenen Disciplinen eine anregend geschriebene Abhandlung von Marinelli [205].

ner. Weitere Ausführung der mathematischen Geographie, Gottingen 1795. S. 5… — [15] A. Heller. Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zei… 1. Band. Stuttg. 1882. S. 59 ff. — [16] Peschel-Ruge. S. 63. — [17] Berger. Zur Entw. … S. 413. — [18] Ibid. S. 409. — [19] Goldbacher, Zur Kritik von Apulejus de mund… Zeitschr. f. d. osterr. Gymn., 1873. S. 670 ff. — [20] Berger, S. 436. — [21] Ibid. S. 45… — [22] Ibid. S. 408 — [23] Ibid. S. 460. — [24] Ibid. S. 460 ff. — [25] H. Fischer Ueber einige Gegenstände der physischen Geographie bei Strabon, als Beitrag z… Gesch. der alten Geographie. Wernigerode 1879. — [26] Peschel-Ruge. Gesch. etc. S. 6… — [27] Ibid. S. 67. — [28] Ibid. S. 68 ff. — [29] Ibid. S. 72. — [30] K. J. Neumann Strabon's Quellen im elften Buche, Halle 1881. — [31] A. Kirchhoff. Recension hiezu, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 158. — [32] Peschel-Ruge S. 77. — [33] Berger, S. 462. — [34] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 471. — [35] K. v. Littrow. Ueber das Zurückbleiben der Alten in den Naturwissenschaften, Wien 1869. — [36] Teuffel, Geschichte der r… mischen Literatur. 1. Band. Leipzig 1873. S. 669 ff. — [37] B. Studer, Lehrbuch der physischen Geographie und Geologie. 1. Theil. Bern, Chur und Leipzig 184… S. 7. — [38] Nehring. Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca 1. Theil, Wolfenbüttel 1873; 2. Theil. ibid. 1876. — [39] Ibid. 1. Theil. S. 13 — [40] Ibid. 1. Theil. S. 17 ff. — [41] Ibid. 2. Theil. S. 4 ff. — [42] Ibid. 2. Thei… S. 25. — [43] A. v. Humboldt, Examen critique de l'histoire de la géographie du nouveau continent et des progrès de l'astronomie nautique dans les 15e et 16e siècle tome I, Paris 1835. S. 180 ff. — [44] Peschel-Ruge, S. 96 ff. — [45] Ibid. S. 15… — [46] Ibid. S. 156. — [47] Rosenberger. Die Geschichte der Physik, 1. Thei… Braunschweig 1882. S. 79 ff. — [48] Ibid. S. 85. — [49] Peschel-Ruge, S. 151 f… — [50] Manuel de la cosmographie du moyen âge, traduit de l'arabe de Shems-eddin ed Demitschki par Mehren. Copenhague 1874. — [51] Zakarija ben Muhammed ben Mahmûd el Kazwini's Kosmographie, deutsch von Ethé, 1. Band Leipzig 1868. — [52] Dieterici. Die Naturanschauung und Naturphilosophie der Araber im zehnten Jahrhundert. Posen 1874. — [53] Kazwini, S. 197 ff. — [54] Fellner, Ein Kompendium der Naturwissenschaft in der Schule zu Fulda im neunten Jahrhundert. Berlin 1878. — [55] Werner, Die Kosmologie und Naturlehre des scholastischen Mittelalters mit spezieller Rücksicht auf Wilhelm von Conches. Sitzber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Phil.-hist. Kl. 1873, II, S. 309 ff. — [56] A. v. Humboldt, Ueber die historische Entwickelung der Kenntnisse von der neuen Welt, 1. Band. Berlin 1852. S. 66. — [57] Fellner, Albertus Magnus als Botaniker, Wien 1881. S. 71 ff. — [58] Tschackert, Peter von Ailli, Gotha 1877. — [59] Günther. Studien, S. 217 ff. — [60] Les livres du trésor, par Brunetto Latini. publié d'après les manuscrits de la bibliothèque impériale par P. Chabaille. Paris 1863. — [61] Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, tome II. Paris 1832. S. 182. — [62] W. Schmidt. Ueber Dante's Stellung in der Geschichte der Kosmographie, Graz 1876. — [63] Günther. Studien, S. 154 ff. — [64] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo, testo italiano del 1882 pubblicato da E. Narducci, Roma 1859. — [65] Ibid. S. 78 ff. — [66] Günther, Studien, S. 172 ff. — [67] A. v. Humboldt, Kosmos. 1. Band. S. 355 — [68] D'Acosta, Historia natural y moral de los Indias, Sevilla 1590. — [69] Döderlein, Sebastian Münster, ein Wiedererwecker des Ptolemaeus, Bl. f. d. bayr. Gymn.- u. Realschulwesen, 15. Band. S. 399. — [70] Ibid. S. 435. — [71] Peschel-Ruge, S. 427. — [72] Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure physiologia nova, Londini 1600. — [73] Brocard, La météorologie de Kepler, I. Grenoble 1879. II. ibid. 1880. — [74] Liebig, Ueber Francis Bacon von Verulam und die Methode der Naturforschung, München 1863. — [75] Franz Bacon's neues Organon, übersetzt, erläutert und mit einer Lebensbeschreibung des Verfassers versehen von v. Kirchmann, Berlin 1870. S. 280. — [76] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche, Leipzig 1878. S. 70. — [77] Wohlwill, Bacon von Verulam und die Geschichte der Naturwissenschaft. Constitut. Jahrbücher, 9. Band. S. 383 ff. 10. Band. S. 207 ff. — [78] Ibid. 9. Band. S. 404. — [79] Breusing, Lebensnachrichten von Bernhard Varenius, Petermann's geogr. Mittheil., 18. Band. S. 136 ff. — [80] Varenius, Geographia generalis, in qua affectiones generales telluris explicantur, Amstelodami 1650. — [81] Varenius. Geographia generalis. ed. Js. Newton, Cantabrigiae 1672. — [82] A. v. Humboldt. Kosmos, 1. Band. S. 74 ff. — [83] Riccioli, Geographia et hydrographia reformata, Bononiae 1661. — [84] Zöckler, Gottes Zeugen im Reiche der Natur; Biographieen und Bekenntnisse grosser Naturforscher aus alter und neuer Zeit. 1. Theil, Gütersloh 1881. S. 275 ff. — [85] Kircher. Mundus subterraneus, in quo universae naturae

majestas et divitiae demonstrantur, Amstelodami 1664. — [86] Agricola, De ortu et causis subterraneorum. Basileae 1546. — [87] Kircher, Magnes seu de arte magnetica opus tripartitum, Romae 1641. — [88] Fr. Hoffmann, Geschichte der Geognosie und Schilderung der vulkanischen Erscheinungen. Berlin 1838. S. 40 ff. — [89] Fournier. L'hydrographie, contenant la théorie et la pratique de la navigation, Paris 1643. — [90] Mariotte, Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides, Paris 1686. — [91] Torell-Nordenskjöld, Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland, ausgeführt in den Jahren 1861, 1864 und 1868, deutsch von Passarge, Jena 1869. S. 339 ff. — [92] Rittau, Johann Reinhold Forster's Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt, Hanau 1881. — [93] C. Ritter, Ueber Gebirgsentdeckung, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 301 ff. — [94] Scheuchzer, Beschreibung der Naturgeschichten des Schweizerlandes, Zürich 1706—18. — [95] Altmann, Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der helvetischen Eisberge, Zürich 1751. — [96] B. Studer, Geschichte der physischen Geographie der Schweiz, Bern und Zürich 1865. — [97] Kropatschek, Zur geschichtlichen Entwickelung des geographischen Unterrichtes, Verhandl. des II. Deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 129. — [98] Peschel-Ruge, S. 707. — [99] Kropatschek, S. 127. — [100] V. A. Huber, Die englischen Universitäten, 1. Band, Kassel 1839. S. 124. — [101] Favaro, Galileo Galilei e lo studio di Padova, Tomo I, Firenze 1882. S. 135. — [102] Buache, Essai de géographie physique, où l'on propose des vues générales sur l'espèce de charpente du globe, composée de chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres, Mém. de l'acad. des sc. de Paris, 1756. S. 399 ff. — [103] Lulofs, Inleidinge tot eene natuur — en wiskoundige beschouwing des aardkloots, tot dienst der landgenoten geschriewen, Leyden 1750. — [104] Johann Lulofs Anleitung zu der mathematischen und physikalischen Erkenntniss der Erdkugel, aus dem Holländischen übersetzt von Kästner, Göttingen und Leipzig 1755. — [105] Bergman, Physisk beskrifning över jordsklot, Upsala 1766. — [106] Physikalische Beschreibung der Erdkugel, auf Veranlassung der kosmographischen Gesellschaft verfasst von Bergman. aus dem Schwedischen übersetzt von Röhl, Greifswald 1791. — [107] Tob. Mayer, Lehrbuch über die physikalische Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie, Göttingen 1805. — [108] Mitterpacher v. Mitterburg, Physikalische Erdbeschreibung, Wien 1789. — [109] Bode, Anleitung zur allgemeinen Kenntniss der Erdkugel, Berlin 1786. — [110] Vorlesungen über physische Geographie, auf Verlangen Kant's aus seiner Handschrift herausgegeben von Rink, Königsberg 1802. Immanuel Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgegeben von F. W. A. Schubert, Leipzig 1839. S. 299 ff. (Auch in v. Kirchmann's „Philosoph. Bibliothek“). — [111] Zöllner, Ueber die Natur der Kometen, (3. Aufl.) Leipzig 1883. S. 231 ff. — [112] Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde, herausgeg. von Lowenberg, 1. Band, Leipzig 1877. S. 265. — [113] Zimmermann, Geographische Geschichte der Menschen und der allgemein verbreiteten vierfüssigen Thiere, Leipzig 1778—83. — [114] L. v. Buch. Reise nach Norwegen und Lappland, Berlin 1810. — [115] Id., Physikalische Beschreibung der romanischen Inseln, Berlin 1825. — [116] Ibid. S. 321 ff. — [117] A. v. Humboldt, Kosmos, Versuch einer physischen Weltbeschreibung, Stuttgart und Tübingen 1845—58. — [118] Id., Ansichten der Natur, mit wissenschaftlichen Erläuterungen, Stuttgart und Tübingen 1808. — [119] Id., Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, fait en 1799—1804, Paris 1811—25 (resp. 1816—31). — [120] Id., Asie centrale, recherches sur les chaînes de montagnes et la climatologie comparée, Paris 1843. — [121] Bruhns, A. v. Humboldt, Eine wissenschaftliche Biographie, 3. Band, Leipzig 1872. — [122] Peschel-Ruge, S. 535 ff. — [123] H. A. Schumacher, Ueber Francisco de Cáldas, den neugranadinischen Naturforscher und Geographen, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 7. Band. S. 98 ff. — [124] Mädler, Russlands geographische Arbeiten und Entdeckungen, Reden u. Abhandl. über Gegenst. d. Himmelskunde, Berlin 1870. S. 380 ff. — [125] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara, deutsch von C. Vogt, Jena 1872. — [126] Jordan, Physische Geographie und Meteorologie der libyschen Wüste, Kassel 1876. — [127] Martens, Spitzbergische oder Grönlandische Reisebeschreibung, Hamburg 1675. — [128] Scoresby, An account of the arctic regions. London 1820. —]129] Weyprecht, Tageblatt der 48. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte, Graz 1875. S. 38 ff. — [130] Burmeister, Physikalische Beschreibung der Argentinischen Republik nach eigenen und den vorhandenen fremden Beobachtungen, 1. Band, Buenos Ayres und Leipzig 1875. — [131] Rein, Japan nach Reisen und Studien. 1. Band, Leipzig 1881.

— [132] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1877. — [133] v. Richthofen, China; Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien, drei Bände, Berlin 1877—82. — [134] Wappäus, Recension hiezu. Gott. gel. Anz. 1877. S. 865. — [135] G. F. Parrot, Grundriss der Physik der Erde und Geologie. Riga und Leipzig 1815. — [136] Chr. F. Parrot, Versuch einer vollständigen Einleitung in die mathematisch-physische Stern- und Erdkunde, Bayreuth 1792. — [137] Desmarest-Bory St. Vincent, Dictionnaire de géographie physique de l'encyclopédie méthodique, Paris 1798—1828. — [138] F. Hochstetter, Allgemeine mathematische und physikalische Erdbeschreibung. Stuttgart 1820—23. — [139] C. Ritter. Erdkunde im Verhältniss zur Natur und zur Geschichte des Menschen, oder allgemeine vergleichende Geographie, Berlin 1822. — [140] Zeune. Gea, Versuch einer wissenschaftlichen Erdbeschreibung, Berlin 1808. — [141] Marthe, Was bedeutet Carl Ritter für die Geographie?, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 14. Band. S. 356 ff. — [142] Link, Handbuch der physikalischen Erdbeschreibung, Berlin 1826. — [143] Gaspari-Hassel-Cannabich; Handbuch der neuesten Erdbeschreibung, 1. Band, Berlin 1819. — [144] Marthe, Festrede auf Carl Ritter, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 6. Band. S. 289. — [145] Carl Ritter's Briefwechsel mit Joh. Friedr. Ludw. Hausmann, herausgeg. v. Wappäus, Leipzig 1879. S. 136. — [146] Ibid., S. 153. — [147] Muncke, Handbuch der mathematischen und physischen Geographie nebst Atmosphärologie, Heidelberg 1830. — [148] J. C. E. Schmidt, Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie. 2. Theil, Göttingen 1830. — [149] H. Wagner, Geogr. Jahrbuch, 9. Band. Gotha 1883. S. 687. — [150] K. Schmidt, Physische Geographie oder Darstellung unserer Erde nach ihrer natürlichen Beschaffenheit und Einrichtung, Leipzig 1832. — [151] v. Raumer, Lehrbuch der allgemeinen Geographie, Leipzig 1835. — [152] Lecoq, Éléments de géographie physique et de météorologie, Clermont 1836. — [153] L. C. Prévost-Bassano, Traité élémentaire de géographie physique, Paris 1836. — [154] Fröbel, Die physische Geographie, als systematische Wissenschaft gemeinfasslich dargestellt, Zürich 1836. — [155] Fr. Hoffmann, Physikalische Geographie, Berlin 1837. — [156] Ibid. S. 423 ff. — [157] v. Richthofen, Bemerkungen zum genetischen Inselsystem, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 237 ff. — [158] Berghaus, Physikalischer Atlas, Gotha 1837—48. — [159] Lacroix, Introduction à la géographie mathématique et critique et à la géographie physique, Paris 1811. — [160] L. Bezout, Géographie physique, Paris 1825. — [161] v. Hoff, Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. Gotha 1822—34; fortgesetzt v. Berghaus, Berlin 1840—41. — [162] Berghaus-Hoffmann, Hertha, Berlin 1826—29. — [163] Fröbel-Heer, Mittheilungen aus dem Gebiete der theoretischen Erdkunde, 1. Band. Zürich 1836. — [164] H. und A. Schlagintweit, Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen in ihren Beziehungen zu den Phänomenen der Gletscher, zur Geologie, Meteorologie und Pflanzengeographie, Leipzig 1850; Neue Untersuchungen über die physikalische Geographie und Geologie der Alpen, ibid. 1854. — [165] B. Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie, Bern, Chur und Leipzig 1844—47. — [166] v. Klöden, Handbuch der Erdkunde, 1. Band, Berlin 1856, 5. Auflage, ibid. 1873. — [167] Reclus, La terre, Paris 1868—69. — [168] M. Sommerville, Physical geography, London 1851. — [169] J. Herschel, Physical geography of the globe, Edinburgh 1875. — [170] Geikie, Elementary physical geography; questions for the use of schools, London 1877. — [171] Blanford, Rudiments of physical geography for indian schools, London 1878. — [172] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1856; 4. Aufl. ibid. 1875. — [173] Leipoldt, Physische Geographie, nach den hinterlassenen Manuskripten Oscar Peschel's selbstständig bearbeitet und herausgegeben, Leipzig 1879—82. — [174] Cornelius, Grundriss der physikalischen Geographie, Halle 1851; 3. Aufl. ibid. 1868. — [175] Hann-v. Hochstetter-Pokorny, Allgemeine Erdkunde; ein Leitfaden der astronomischen Geographie, Meteorologie, Geologie und Biologie, Prag 1872. — [176] Lippert, Die Oberfläche der Erde; einer volksverständlichen Geographie physischer oder 1. Theil, Prag 1879. — [177] Geistbeck, Leitfaden der mathematischen und physikalischen Geographie, Freiburg i. B. 1881. — [178] F. Roth, Vergleichende physische Geographie (ungarisch), Budapest 1878. — [179] Studnička, Všeobecný zeměpis čili astronomická, mathematická a fysikální geografie, Prag 1881—83. — [180] Peschel, Neue Probleme etc., Leipzig 1869; 4. Aufl. ibid. 1883. — [181] Ibid. S. 1 ff. — [182] v. Hellwald, Comment on comprend et comment on étudie la géographie en Allemagne et en Autriche, Congrès national de géographie à Nancy, 1881. S. 94 ff. — [183] P. Lehmann, Kritischer Exkurs über Peschel's Morphologie der Erdober-

fläche, Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin. 10. Band. S. 97 ff. — [184] H. Wagner, Geogr. Jahrbuch, 9. Band, Gotha 1883. S. 669. — [185] A. Kirchhoff, Humboldt, Ritter und Peschel, die drei Hauptlenker der modernen Erdkunde, Deutsche Rundschau. 2. Jahrgang, 4. Heft. — [186] Kapp, Philosophie der Erdkunde, Braunschweig 1845; Vergleichende allgemeine Erdkunde in wissenschaftlicher Darstellung, ibid. 1868. — [187] Schouw, Specimen geographiae physicae comparativae, Hauniae 1828. S. 4. — [188] Marinelli, Carlo Roberto Darwin e la geografia, Venezia 1883. — [189] Fr. Hoffmann, De vallium in Germania boreali principalium directione memorabili congrua, Halae 1823. — [190] Id., Physikalische Geographie, S. 5. — [191] Tollin, Michael Servet, ein Vorläufer C. Ritter's und Alex. v. Humboldt's, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 14. Band. S. 356 ff. — [192] v. Valvasor, Die Ehre dess Herzogthums Crain: Das ist, Wahre, gründliche und recht eigendtliche Belegen- und Beschaffenheit dieses, in manchen alten und neuen Geschicht-Büchern zwar rühmlich berührten, doch bisher nie annoch recht beschriebenen Römisch-Keyserlichen herrlichen Erblandes, Laybach 1689. — [193] Pallas, Neue nordische Beiträge zur physikalischen und geographischen Erdbeschreibung, Petersburg und Leipzig 1781—96. — [194] J. A. Cramer. Physikalische Briefe über die Gegend von Hildesheim, Hannover 1796. — [195] Goldfuss-K. G. Ch. Bischof, Physikalisch-statistische Beschreibung des Fichtelgebirges, Nürnberg 1816. — [196] Pleischl, Beiträge zur physikalischen Geographie Böhmens, Prag 1838. — [197] Pusch *), Physikalische Geographie von Polen. — [198] Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover, Hannover 1865. — [199] Hull, Physical geology and geography of Ireland, London 1878. — [200] R. Lehmann, Ueber systematische Förderung wissenschaftlicher Landeskunde von Deutschland, Verhandl. d. II. Deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 102 ff. — [201] Saigey, Petite physique du globe, Paris 1832. — [202] Quetelet, Météorologie de la Belgique, comparée à celle du globe, Bruxelles et Paris 1867. — [203] B. Studer, S. 3 ff. — [204] Zoppritz, Geogr. Jahrb., 8. Band, Gotha 1882. S. 1 ff.; 9. Band, ibid. 1883. S. 1 ff. — [205] Marinelli, Della geografia scientifica e di alcuni suoi nessi collo sviluppo degli studi astronomici e geologici, Roma 1879.

*) Wir entnehmen diese Nachricht von einem Autor, um dessen Gedächtniss sich etwas anzunehmen zunächst den polnischen Geographen überlassen bleiben muss, Poggendorff's „Biogr.-liter. Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften“ (Leipzig 1863. S. 545). Alldort werden auch zahlreiche andere Beiträge notirt, welche Pusch zur physikalischen Landeskunde Polens geliefert hat, wie jenes posthume Manuskript.

Erste Abtheilung.

Die kosmische Stellung der Erde.

Kapitel I.

Die Kant-Laplace'sche Hypothese.

§. 1. **Kosmogonische Hypothesen im Allgemeinen.** Genaues über die Art und Weise, wie sich unser Erdkörper zu dem entwickelt hat, als welchen wir ihn gegenwärtig wahrnehmen, lässt sich natürlicherweise nicht beibringen; alle Spekulationen über diese Frage müssen der Natur der Sache nach den Stempel des Hypothetischen tragen. Bei den Erklärungen, welche die religiösen Schriften aller Nationen für den Hergang der Weltentstehung gaben, vermochten Viele sich nicht zu beruhigen, und so sehen wir denn bereits im frühen Mittelalter Männer von sonst unantastbarer Gläubigkeit die biblischen Nachrichten über das Sechstagewerk in theilweise sehr rationalistischer Weise interpretiren. Besonders merkwürdig ist, was Zöckler [1] in dieser Hinsicht von einem der hervorragendsten der Kirchenväter, von Gregor von Nyssa (IV. Jahrhundert), berichtet: „Ganz evolutionistisch, an die Kosmogonieen der Neuzeit seit Kant anklingend, lautet, was zur Erläuterung der Gestirnschöpfung am vierten Tage beigebracht wird. Aus dem die Erde gleich einem mächtig leuchtenden Nebel umkreisenden Urlichte entstanden Sonne, Mond und Sterne auf naturgesetzlich vermittelte Weise, durch Zusammenballung der rotirenden Luftttheilchen, von welchen sich das Leichtere immer zum Leichteren, das Schwerere zum Schwereren, überhaupt Gleichartiges zu Gleichem gesellte. Man wird fast an Plateau's Oeltropfen-Versuch*), das berühmte Experiment zur Veranschaulichung des Grundgedankens der Laplace'schen Weltbildungslehre, erinnert, wenn dieses Sichgesellen der gleichartigen Elemente der kreisenden Lichtmaterie durch die Hinweisung auf eine Mischung von Quecksilber, Wasser und Oel illustrirt wird, die längere Zeit in einem Gefässe geschüttelt, die Wahrnehmung ergebe, dass das Quecksilber sich zu unterst, das

*) Hievon wird weiter unten (in §. 5) eingehend gesprochen werden.

Wasser in der Mitte, das Oel zu oberst ablagere.“ Man wird nicht in Abrede stellen können, dass diese Auffassung den geltenden Naturgesetzen sich jedenfalls weit besser anpasste, als so manche weit später entstandene. An eine ähnliche wirbelnde Bewegung der zu einzelnen Hauptmassen zusammengerinnenden Theilchen dachte auch Cartesius, für den ja [2] ein solcher Bewegungszustand die Grundlage seiner ganzen Kosmologie war. Von ihm zeigt sich auch einigermassen abhängig Leibniz in seiner für die Geschichte der Geologie noch heute [3] bedeutsamen „Protogaea“ [4], in welcher die Erde als ein der Sonne von Hause aus konform gebildeter Körper geschildert wird, der schliesslich in einen schlackigen Granitklumpen sozusagen degenerirte; noch entschiedener aber beeinflusste die cartesische Wirbeltheorie, die selbst in Newton's Vaterlande nur langsam dem Gravitationsgedanken die Bahn frei gab, die Schule der englischen Physikotheologen. Durch die kreisende Bewegung der einzelnen Weltkörper lässt Burnet [5] die Gewässer der Tiefe die dünne Rinde eines jeden Planeten sprengen, denen auch er somit einen durchaus gleichartigen Ursprung zuschreibt; bei diesen Sintfluthen habe es dann für jeden einzelnen Himmelskörper mehr oder minder heftige Katastrophen abgesetzt, besonders auf dem Saturn, wo in Folge eines solchen Ereignisses der Ring sich abgetrennt habe. Ihm folgten Andere, die die Hauptrolle bei der Herstellung unseres Sonnensystemes in seiner gegenwärtigen Form einem Kometen zudachten und diesen als deus ex machina ganz nach ihrer Einbildungskraft schalten und walten liessen; hierher, zu den von Zöckler bezeichnend „Kometomanen“ Genannten [6], gehörten Whiston, Clüver und sogar der als naturwissenschaftlicher Schriftsteller sonst hoch geschätzte Buffon, während der gelehrte Woodward (1695) in seiner „Natürl. Geschichte der Erde“ sich gegen diese Herbeiziehung eines völlig unkontrolirbaren Momentes erklärte [7]. In Buffon's Schrift [8] stösst ein Komet an die Sonne, und zwar excentrisch; dadurch wird ein Stück des Sonnenkörpers — Buffon weiss genau, dass es ein Sechshundertundfünfzigstel von dessen Volumen ist — losgerissen, aus welchem dann, wenn weitere Schweifsterne sich zur Verfügung stellen, allmählig die einzelnen Planeten und deren Trabanten sich abtrennen. Ja der grosse Komet von 1811 war sogar im Stande, noch eine neue Phase dieser eigenthümlichen Abart kometarischen Aberglaubens zu bewirken; Gruithuisen, Gelpke, Smithson-Tennant sprachen sich [9] in diesem Sinne aus, und der ebenso geistreiche als phantastische Steffens begründete seine Lehre vom Menschen [10] auf ein geographisches System, welches einem Mondstadium der Erde ein Kometenstadium und diesem erst das eigentliche Planetenzeitalter folgen liess — ziemlich umgekehrt so, wie wir jetzt den Fortbildungsprocess auffassen zu müssen glauben. Wir übergehen andere Hypothesen, die nur beweisen, wie äusserst langsam die gesunden Ideen Kant's sich Bahn zu brechen im Stande waren; man denke nur an die freilich mit grossem mathematischem Aufputz hervorgetretenen geogonischen Systeme des älteren [11] und des jüngeren [12] Silberschlag. Noch lange nachher entwickelte Späth [13] seine Embryonentheorie; an solchen Stellen des Weltraumes, welche von allen Seiten her ungefähr einer gleich starken Anziehung ausgesetzt waren, bildeten sich gasartige Sphäroide als „Embryonen“ des

künftigen stellaren Körpers; „diese Embryonen mochten von der Natur in verschiedener Grösse angelegt worden seyn, während jeder derselben aus zweien unter sich ungleichartigen Gasen gemischt war.“ Bei aller Sonderbarkeit dieser Ansichten macht sich hier doch bereits eine gewisse Einwirkung der durch Kant angebahnten, durch Laplace vollendeten Reform bemerkbar. Als ein wirklicher Vorläufer Kant's muss dagegen der bekannte Emanuel Swedenborg mit allem Rechte gelten, in welchem Phantasterei und exaktes Denken zu eigenartiger Mischung sich vereinten; namentlich in §. IV, 3 seines 1734 erschienenen Werkes über Naturphilosophie — derselbe führt den Titel „De chao universali solis et planetarum, deque separatione ejus in planetas et satellites“ — entwickelt der Autor, den von Nyrén [14] gegebenen Auszügen zufolge, eine systematische Weltbildungslehre auf der Basis der cartesischen Wirbel.

§. 2. **Die Kant'sche Hypothese.** Im zweiten Theile seiner mit Recht berühmt gewordenen „Naturgeschichte des Himmels“, welche im Vereine mit einer von Lambert ausgegangenen Schrift von verwandter Tendenz [15] auf die ganze Weltanschauung des XVIII. Jahrhunderts umgestaltend einwirkte, kommt der Königsberger Philosoph darauf zu sprechen, dass doch die das ganze Planetensystem beherrschende Gleichmässigkeit *) des Dreh- und Bewegungssinnes bei Rotation und Revolution von einer gemeinsamen leitenden Ursache abhängen müsse [16]. Alle Bestandtheile unseres Sonnensystemes, Planeten wie Kometen, befanden sich „im Anfang aller Dinge“ in einem gleichmässigen Zustande des Aufgelöstseins. Natürlich herrschte ein nur labiles Gleichgewicht, so dass innere Kräfte — von deren Herkunft freilich weiter nicht die Rede ist — leicht eine Störung hervorbringen und einzelne dichtere Klumpen bilden konnten, auf welche sich dann die benachbarten Theilchen zubewegten. Alle Theilchen sind von Hause aus mit einer gleichförmigen Bewegung **) und mit gewissen Zurückstossungskräften ausgestattet; diese letzteren bewirken in Verbindung mit der Attraktion der bereits gebildeten dichteren Centren, dass die gleichförmig geradlinige Bewegung in eine kreisförmige sich verwandelt, und zwar muss sich so ein Zustand herausbilden, bei welchem die einzelnen Bewegungen einander am wenigsten durchkreuzen und stören. „Diess geschieht,“ sagt Kant [17], „erstlich, indem die Theilchen, eines der andern Bewegung so lange einschränken, bis alle nach einer Richtung fortgehen; zweitens, dass die Partikeln ihre Vertikalbewegung, vermittelst der sie sich dem Centrum der Attraktion nähern, so lange einschränken, bis sie alle horizontal, d. i. in parallel laufenden Cirkeln um die Sonne als ihren Mittelpunkt bewegt, einander nicht mehr durchkreuzen, und durch die Gleichheit der Schwung-

*) Dass es auch Ausnahmen von dieser Regel gäbe, war zu Kant's Zeit noch unbekannt. Wir werden in §. 6 von diesen Ausnahmen zu sprechen haben.

**) Newton war [19] der Meinung, die verschieden dichten Planeten hätten deshalb in jenen Distanzen von der Sonne angebracht werden müssen, welche wir beobachten, damit jeder Planet, im Verhältniss seiner Dichtigkeit, mehr oder weniger stark von der ersteren erleuchtet und erwärmt werde. Je dichter nämlich ein Stoff sei, um so mehr Wärme werde erfordert, damit dieselbe unter sonst gleichen Umständen die nämliche erhitzende Wirkung haben könne.

kraft mit der senkenden sich in freien Cirkelläufen in der Höhe, da sie schweben, immer erhalten, so dass endlich nur diejenigen Theilchen in dem Umfange des Raumes schweben bleiben, die durch ihr Fallen eine Geschwindigkeit, und durch die Widerstehung der andern eine Richtung bekommen haben, dadurch sie eine freie Cirkelbewegung fortsetzen können."

In der Mitte all' dieser Kreise, welche die Weltatome beschreiben, befindet sich nun ein Körper von etwas dichterem Gefüge: die spätere Sonne. Kant betont nachdrücklich, dass zur Bildung dieses inneren Kernes die Newton'sche Gravitation nicht ausgereicht haben könne, dass vielmehr wohl eine Art chemischer Wahlverwandtschaft zur Erklärung hinzugezogen werden müsse. Gewisse Massentheilchen, die in angenähert gleichen Entfernungen vom Centralkörper um diesen ihren Umlauf vollziehen, ballen sich zu einem weiteren Körper zusammen, welcher sich in gleicher Richtung bewegt. So ist der erste Planet entstanden; ihm folgen mehrere. Dass deren Bahnen theilweise ein wenig vom Kreise abweichen und auch nicht ganz und gar in dieselbe Ebene fallen, erklärt sich einfach aus den Verschiedenheiten in der Stärke der Anziehung. Ein — allerdings nicht näher formulirtes — statisches Gesetz weist [18] den Materien des Weltalls deren „Höhen" (Abstände von Centrum) nach dem umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtigkeit an; dieses Gesetz soll die teleologischen Gründe ersetzen, welche Newton für die mit wachsender grosser Axe der Planetenbahn abnehmende spezifische Schwere der Wandelsterne angegeben hatte. Die Nebenplaneten hält Kant für durchaus dichter als die zugehörigen Hauptplaneten und legt sich dieses Verhältniss in der Weise zurecht, dass erstere mehr „aus dem Ausschusse der elementarischen Materie", die letzteren dagegen „ohne Unterschied aus den Materien aller vorhandenen Gattungen" formirt seien. Die Dichtigkeit aller Planeten zusammen müsse als arithmetisches Mittel dieselbe Zahl, wie jene der Sonne, ergeben, und in der That bestehe auch nach Buffon das Verhältniss 64 : 65. Die Kometen sind ebenfalls regelrechte Mitglieder unseres Sonnensystemes; nur bilden sie sich [20] in sehr grossen Entfernungen vom Hauptkörper da, wo die Kraft, „welche sie zum Sinken bringt", nur noch eine schwache Wirkung ausüben kann. Für die Kometen als Weltkörper, meint unser Gewährsmann, sei nur die grosse Excentricität ihrer Bahnen charakteristisch, denn ihre Lichthüllen und Schweife erhielten sie erst bei ihrer Annäherung an die Sonne. Jeder Planet stellt nun wieder [21] eine Sonne im Kleinen dar; von ihm lösen sich wieder kleinere Kugeln los, und zwar wird ein Planet um so mehr Nebenplaneten besitzen, je grösser seine Entfernung vom Centralkörper ist. Die Axen sämmtlicher dem Sonnensystem angehöriger Bälle stehen senkrecht „gegen die allgemeine Beziehungsfläche des planetarischen Systemes, welche nicht weit von der Ekliptik abweicht". Zuletzt wird noch dem Saturn eine eingehendere Diskussion gewidmet [22]. Derselbe soll anfänglich ein kometarischer Planet gewesen sein und seinen Umlauf in einer vom Kreise sehr stark abweichenden Bahn vollzogen haben. In Folge der ungleichartigen Insolation hatten sich schweifbildende Dünste um ihn gesammelt, die sich schliesslich zu einem Ringe verdichteten. Zuerst war derselbe aller Wahrscheinlichkeit nach ein der Saturnkugel kon-

centrischer sphärischer Ring, mit der Zeit aber folgten sämmtliche Theilchen der ihnen innewohnenden Tendenz, sich in die Aequatorialebene zu begeben. Jedem anderen Kometen könne unter entsprechend günstigen Umständen das Gleiche widerfahren. Kant wagt es sogar, die teleskopisch angeblich nicht zu eruirende Umdrehungsdauer des Ringes theoretisch zu bestimmen; die inneren Theilchen sollen etwa 10, die äusseren etwa 15 Stunden zu Einem Umlauf brauchen, und auch die Axendrehung des Planeten selber wird aprioristisch auf 6^h 25′ 53″ festgesetzt*). Ja, der geniale Rationalist geht sogar so weit, jene „oberhimmlischen“ Wasser, welche der kosmischen Physik der Kirchenväter so grosse Schwierigkeiten bereiteten, mit einem früheren hypothetischen Ringe der Erde in Verbindung zu bringen, dessen Abbild man dann im Regenbogen erblickt habe!

§. 3. **Kritik der Kant'schen Originalhypothese.** Ueber die Theorie, deren Grundzüge wir soeben im engsten Anschlusse an das Original erörtert haben, sind sehr verschiedene Urtheile laut geworden. H. J. Klein meinte, es würde von dem ganzen Systeme nicht viel übrig bleiben, wenn man das Secirmesser in aller Strenge daran anlegen wollte [24], und Zöllner hinwiederum, der begeisterte Lobredner des Naturforschers Kant, sucht durch textuelle Nebeneinanderstellung der bezüglichen Stellen in des letzteren und in Laplace's Werke den augenscheinlichen Beweis dafür zu erbringen, dass der französische Erneuerer des Kant'schen Gedankens ganz unvergleichlich weniger tief in die Sache eingedrungen sei [25]. Die Wahrheit dürfte wohl auch hier in die Mitte zu liegen kommen. Daran kann doch wohl nicht gezweifelt werden, dass Kant mit physikalischen Sätzen bei der Grundlegung seines Systemes ziemlich unbekümmert umspringt und die Pflicht des konstruirenden Kosmologen, sich auch selbst Einwürfe zu machen, verabsäumt. Die Rückläufigkeit mancher Kometen konnte ihm, der die Fachliteratur seiner Zeit wie irgend einer beherrschte, unmöglich unbekannt sein, und trotzdem wird dieser gefährlichen Klippe mit keiner Sylbe gedacht. Und zweitens sind die einzelnen Erwägungen doch nicht sowohl mechanischer, als vielmehr teleologischer Natur, wie denn den Theilchen immer nur eine nicht weiter aufgeklärte Tendenz zu gewissen Bewegungen zugeschrieben wird**). Man

*) Freilich sagt schon bei Lebzeiten des Autors sein Kommentator Sommer [23]: „Ich habe die Data, die Hr. Prof. Kant bey dieser Berechnung zu Grunde gelegt hat, nicht genau herausbringen können.“ Gleichwohl sind Kant's Zahlen annähernd richtig.

**) In neuester Zeit hat ein eifriger Anhänger Darwin's dessen in der organischen Welt sich so wunderbar bethätigendes Princip der natürlichen Auslese auch auf die Korperwelt und die himmlischen Bewegungen auszudehnen versucht. Mit Bezugnahme auf das atomistische Lehrgedicht des Römers Lucretius sucht Du Prel [26] die Nothwendigkeit, dass aus dem wirren Durcheinandertreiben der Massentheilchen eine zweckmässige Weltordnung sich habe heraus entwickeln müssen, durch den Hinweis auf eine Gruppe von Tänzern klarzulegen, deren jeder ohne die geringste Rücksicht auf seine Nebenleute eine ganz bestimmte Tour zu tanzen habe, mit der Bedingung jedoch, dass jeder beim ersten Anprall an einen Genossen aus dem Reigen auszuscheiden habe. Nach und nach werde nur eine kleine Anzahl im Kampfe um das Dasein sich behaupten, und es werde sich ein regelmässiger Kunsttanz ergeben. Gegen diese Vergleichung, an welche Kant's

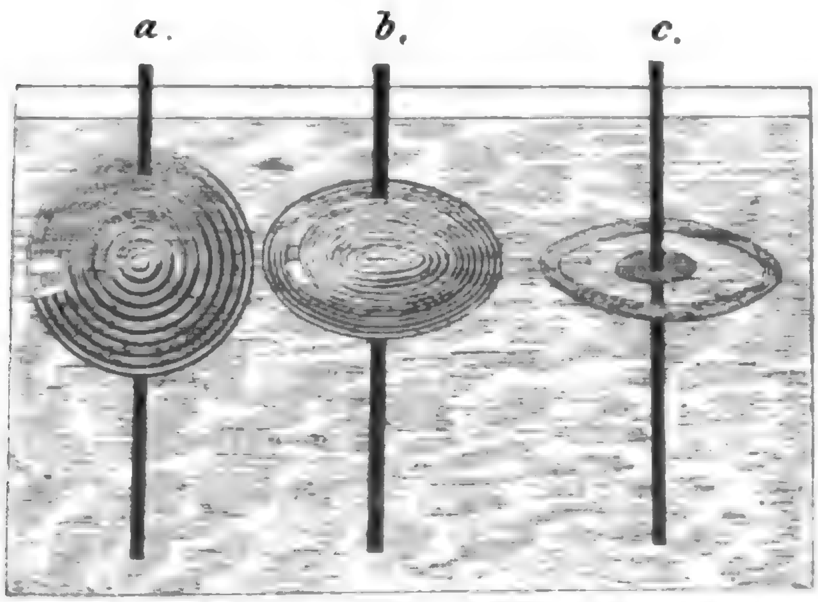
weiss aus anderen Schriften Kant's, dass er den Anforderungen an eine mechanische Naturerklärung bei anderen Veranlassungen weit besser zu genügen verstand, als gerade im vorliegenden Falle. Wir werden, wenn wir zuvor noch die Hypothese in der verbesserten Form kennen gelernt haben werden, welche ihr Laplace ertheilt hat, nicht umhin können, Faye darin Recht zu geben, dass Kant sich hohe Verdienste um die Schaffung einer konsequent durchgeführten Weltentstehungslehre erworben, seinem Nachfolger aber doch auch noch ein Stück Arbeit hinterlassen habe [28]. Die von A. Meydenbauer in einer eigenen Schrift [29] vertretene Ansicht, dass Kant's Auffassung der Laplace'schen sachlich vorzuziehen sei, dürfte nicht von Vielen getheilt werden.

§. 4. **Laplace's neue Formulirung der Kant'schen Ideen.** Anscheinend ohne von früheren verwandten Leistungen etwas zu wissen, sah sich der Verfasser der „Mécanique céleste" von selbst auf eine ähnliche kosmologische Annahme geführt. Ihn leitete [30] eine Probabilitätsbetrachtung, er erwog, wie ungemein gross die Wahrscheinlichkeit dafür sei, dass die allen Planeten gemeinsame Bewegungsrichtung, sowie der für die Planeten und Satelliten — im Allgemeinen identische Sinn der Rotation auch auf einen Kausalnexus hindeute. Die Sonnenatmosphäre erstreckte sich dereinst bis über die äusserste gegenwärtige Planetenbahn hinaus, und als die Umdrehungsgeschwindigkeit des aus sehr feiner Materie gebildeten Körpers, d. h. eben der Sonne, eine gewisse Grenze erreicht hatte, hielt sich die Centrifugalkraft gerade noch das Gleichgewicht mit der Schwere. Gleich darauf siegte die erstere, längs des Aequators löste sich eine dünne Körperschicht ab und vereinigte sich zu einem Ringe, dem aber die Umdrehung bereits durch seine bisherige Bewegung eingeprägt war. Da natürlich der Ring nicht an allen Stellen die gleiche Dicke hatte, so zerriss er an verschiedenen Stellen, und an seinen Platz traten kleine Kugeln oder doch wenigstens Eine kleine Kugel. So war die Planetenbildung eingeleitet, der Centralball hatte in Folge seiner Massenverminderung eine beschleunigtere Umdrehung um seine Axe erhalten, und so waren auf's Neue die nothwendigen Bedingungen für die Entstehung eines zweiten Wandelsternes gegeben. Nach dieser Auffassung ist mithin die Ringperiode nur ein Durchgangsstadium in der Entwickelungsgeschichte jedes einzelnen Planeten, nicht aber etwas Aussergewöhnliches, an die Kometen Erinnerndes, wie Kant annehmen zu müssen geglaubt hatte. Wesentlich in dieser Modifikation erblicken wir den durch Laplace angebahnten Fortschritt, denn nunmehr war der frühere Unterschied zwischen Mond und Ring gefallen, und der Anblick, welchen uns das Saturnsystem gewährt, erschien als ein solcher, den in früheren Zeiten jede andere Planetengruppe gleichfalls geboten haben konnte. Und noch mehr: mit dieser Verbesserung war für die Kant-Laplace'sche Theorie die Möglichkeit einer Bestätigung durch den Versuch gewonnen.

Behauptung lebhaft gemahnt, dass die Partikeln allmählig ganz von selbst in gewisse Bahnen hineingedrängt würden, hat J. Huber [27] gewichtige Gründe angeführt.

§. 5. **Plateau's Versuche.** Ueber die von dem belgischen Physiker in verschiedenen Jahrgängen der Akademie zu Brüssel beschriebenen Experimente werde hier nach der sehr anschaulichen Schilderung von Wüllner [31] berichtet. In einem Kasten befindet sich (s. o. §. 1) ein Gemisch von Wasser und Alkohol, welches so regulirt ist, dass sein spezifisches Gewicht genau mit jenem des Olivenöles übereinstimmt. Ein Tropfen dieses letzteren wird mittelst einer Pipette in die Mischung gebracht; sowie jene zurückgezogen ist, bleibt der Oeltropfen, welcher ja dem Einflusse der Schwere vollständig entzogen ist, an dem zuletzt eingenommenen Orte schweben und nimmt, da einzig und allein die allenthalben gleiche Oberflächenspannung sich äussern kann, die reine Kugelform an. Nun werde ferner ein Eisenstab eingeführt, der etwa in seiner Mitte eine kleine Metallscheibe trägt, während an seinem oberen, aus dem Kasten hervorragenden Ende eine Kurbel angebracht werden kann (in Fig. 1 c ist dieses Scheibchen wahrzunehmen). Wurde die Scheibe vorher mit Oel befeuchtet, so kann man die Oelkugel mittelst eines Eisenstäbchens so an erstere heranführen, dass die Theilchen des Balles sich symmetrisch um den Stab herumlagern, wodurch das Scheibchen gewissermassen zur Aequatorebene des Oeltropfens wird. Die Kurbel wird nunmehr sanft in Bewegung gesetzt; dann tritt zu den bisher allein wirksam gewesenen Molekularaktionen der Cohäsion und Adhäsion (an den Eisenstab) noch die Centrifugalkraft hinzu, und es treten folgeweise die Erscheinungen auf, welche in Fig. 1, a, b und c abgebildet

Fig. 1.



sind. Durch besondere Kunstgriffe wusste es Plateau sogar dahin zu bringen, dass ein Theil des Oeles an der Scheibe haften blieb und als abgeplattetes Sphäroid weiter rotirte, während der Ueberrest als Ring sich loslöste, und damit hatte man ein völlig entsprechendes Modell des Saturn erhalten. Bei grösserer Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit zerreisst der Ring, die Stücke ballen sich zu kleineren sphärischen Klumpen zusammen, deren jeder wiederum mit einer im gleichen Sinne vor sich gehenden Rotation begabt ist. Es wird Nie-

mandem einfallen, den Plateau'schen Versuch für einen strengen Beweis der kosmogonischen Hypothese erklären zu wollen, denn hiezu sind die Entstehungsbedingungen viel zu wenig gleichartige, doch bleibt die Uebereinstimmung immerhin eine sehr merkwürdige und werthvolle *).

§. 6. **Gründe, welche gegen Kant-Laplace sprechen.** Die Art und Weise, wie Kant auch die Kometen in seinem Systeme unterzubringen wusste, wird heutzutage wohl Niemandes Billigung erfahren können, aber auch Laplace ist der Frage, wie diesem Dilemma zu begegnen sei, aus dem Wege gegangen. Die später zu besprechenden neueren Theorieen der Schweifsterne, in Folge deren man letztere als selbstständige kosmische Wolken aufzufassen und den hyperbolischen Bahnen eine weit grössere Wahrscheinlichkeit als den elliptischen beizumessen sich gewöhnt hat, brachten uns die gewünschte Abhülfe, denn wenn der Komet überhaupt kein Vollbürger unseres Systemes ist, sondern nur durch eine zufällig sehr stark sich äussernde Gravitationswirkung in dessen Machtbereiche festgehalten wurde, so braucht uns eine stark excentrische oder sogar in rückläufigem Sinne beschriebene Bahn nicht weiter zu bekümmern.

Unter dem philosophischen Gesichtspunkte kann unserer Weltentstehungslehre entgegengehalten werden, dass sie nicht für alle Momente eine Auskunft in Bereitschaft halte — ein Schicksal, welches sie freilich mit allen menschlichen Theorieen theilt. Unerklärt bleibt nämlich, woher der in Umdrehung um seine Axe befindliche Gasball, welcher dereinst unser Sonnensystem darstellte, eben diese seine Rotation gehabt habe. Der blosse Ballungsakt konnte eine solche nicht ertheilen. Ennis hat allerdings diese Einwände zu entkräften gesucht [33], indess ist noch ein zweites Bedenken vorhanden, welches vielleicht noch schwerer zu heben sein dürfte. Meissel hat nämlich neuerdings auch darauf hingewiesen [34], dass selbst das Bestehen einer Rotation noch kein zureichender Grund für die Abtrennung der Planeten sei. Es werde mit M die Masse der Urkugel in ihrem Anfangszustande, mit r ihr Halbmesser, mit ω die Winkelgeschwindigkeit bezeichnet; dann hat man, den Anziehungsfaktor = 1 gesetzt, $\omega^2 r < M : r^2$, $\omega^2 r^2 < M : r$. Dadurch, dass die Kugel bis auf den Radius ρ sich verkürzt hat, vergrösserte sich auch die Winkelgeschwindigkeit, die nunmehr ω_1 heissen möge; mit Rücksicht auf das Princip der Erhaltung der lebendigen Kraft muss $r^2 \omega^2 = \rho^2 \omega_1^2$ und sohin auch

$$\rho^2 \omega_1^2 < \frac{M}{\rho}, \; \omega_1^2 \rho < \frac{M}{\rho^2}$$

*) Es mag kühn erscheinen, im Laboratorium kosmische Processe reproduciren oder sozusagen Experimentalastronomie treiben zu wollen. Indess steht Plateau's Beginnen keineswegs vereinzelt da. So hat u. a. Planté [32] zwei durch den Draht einer Batterie verbundene Kupferstäbchen mit ihren freien Enden in ein Gefäss, gefüllt mit verdünnter Schwefelsäure, eingetaucht und, nachdem so der Strom hergestellt war, der positiven Elektrode den gleichnamigen Pol eines Magnetes genähert; das vom positiven Pole sich ablösende Kupferoxyd gerieth dann in eine Wirbelbewegung, täuschend ähnlich derjenigen, welche man — vergl. Schellen's Zeichnungen — auch als in den spiralförmigen Nebelflecken der Jagdhunde und des Haares der Berenice vor sich gehend annehmen muss.

sein. Die Planetenbildung würde aber, wie Laplace (s. o. §. 4) ausdrücklich betont, umgekehrt die Relation $\omega_1^2 \rho \quad \frac{M}{\rho^2}$ voraussetzen (Centrifugalkraft > Anziehungskraft). Man muss also wohl noch an einen zweiten äusseren Impuls denken, welcher die Abtrennung des ersten Nebenkörpers vorbereitete, etwa an einen excentrischen Stoss oder an starke Annäherung eines anderen Centralkörpers u. dgl.

Theoretischer Natur ist auch ein von A. Ritter geäussertes Bedenken [35]. Derselbe kommt durch eine Reihe tiefgehender analytischer Ueberlegungen zu dem folgenden Schlusse: „Für jeden gasförmigen Weltkörper giebt es eine obere Volumengrenze, bei deren Ueberschreitung die Masse derselben im unendlichen Raume sich zerstreuen würde.“ Bestätigt sich dieser — zunächst ja nur am speziellen Falle erschlossene — Satz anderweit, so wird sich die moderne Kosmogonie damit allerdings auseinanderzusetzen haben, denn die Voraussetzung eines beliebig grossen Volumens für den Anfangszustand wäre jetzt nicht mehr gestattet. Früher schon hatte Zöllner eine ähnliche, aber ungleich apodiktischer gefasste Behauptung aufgestellt. Er hatte [36] die Differentialgleichung hergeleitet, welche die Beziehung zwischen dem Drucke in irgend einem Punkte einer Gaskugel und dem Abstand dieses Punktes vom Centrum ausdrückt, wenn die Kugel, deren Bestandtheile einzig und allein den Gesetzen von Newton und Mariotte unterworfen sein sollen, frei im Raume schwebt. Obschon das totale Integral dieser nicht linearen und deshalb gewiss auch nur sehr schwer aufzulösenden Gleichung zur Zeit noch nicht ermittelt ist, glaubte sich Zöllner doch ermächtigt, auf eine Partikularlösung derselben Schlüsse von ungemeiner Tragweite begründen zu dürfen und namentlich zu erklären, dass im gewöhnlichen (euklidischen) Raume unter den obigen Voraussetzungen eine völlige Verflüchtigung des Stoffes werde eintreten müssen; er suchte sich dadurch zu helfen, dass er dem Weltraume ein wenn auch nur sehr geringes positives Krümmungsmaass im Riemann'schen Sinne beilegte [37]. Budde hat aber [38] mit Recht eingewendet, die ganze Betrachtung Zöllner's stehe und falle mit der Voraussetzung eines Gleichgewichtszustandes im Universum, und dafür, dass ein solcher bestehe, ist der Beweis nicht einmal anzutreten versucht worden. Nachdem diese Zeilen längst geschrieben waren, erschien im Osterprogramm der Oberrealschule zu Coblenz 1883 eine Abhandlung von Most (Neue Darlegung der absoluten Geometrie und Mechanik, mit Berücksichtigung der Frage nach den Grenzen des Weltenraumes), in deren drittem Theile der Versuch gemacht wird, jene Gleichungen der Astronomie, in welchen Nutation, Aberration und Parallaxe neben einander auftreten, der Riemann'schen Theorie gemäss umzuändern und zuzusehen, ob die hiernach berechneten Werthe mit den Beobachtungen harmoniren. Wir gestehen, auch von der Betretung dieses allerdings rationelleren Weges uns keinen besonderen Vortheil versprechen zu können.

Von der grössten Schwierigkeit jedoch, welche die Kant-Laplace'sche Theorie gerade im gegenwärtigen Augenblicke zu überwinden hat, konnten ihre beiden Urheber keine Ahnung haben. Bis vor Kurzem schien es ja ausser allem Zweifel zu stehen, dass die einzelnen Trabanten sich ganz im gleichen Sinne um ihren Planeten be-

wegten, wie dieser selbst um die Sonne. Die Trabanten des Uranus haben uns aber darüber belehrt, dass diese Uebereinstimmung keine durchgehende ist, denn diese sind retrograd, und wollte man die Bahn eines dieser Trabanten mit der Bahn irgend eines anderen Satelliten im Sonnensysteme zur Deckung bringen, so müsste man die betreffende Ebene um mehr als 100° drehen [39]. Faye hat sich viele Mühe gegeben, um diese nicht wegzuleugnende Anomalie möglichst zu beseitigen. Wenn der in Bewegung befindliche Nebelfleck, so argumentirt er [40], in jenes Stadium eintritt, wo bereits die Homogeneität der Massenvertheilung gestört erscheint, so entsteht eine Wirbelbewegung der Moleküle um eine gewisse Axe. Während der ganzen Koncentration dauert dieselbe an und bewirkt, dass die Nebelmasse in einen äusseren und inneren Theil zerfällt. Die Gegensätzlichkeit dieser beiden Zonen sucht er in dem genannten Aufsatze zu charakterisiren, wie folgt. Rechtläufig wird die Revolution der aus der glühenden Gasmasse sich entfernenden Einzelkörper nur dann, wenn die äusseren Theile des Planetenringes eine grössere Geschwindigkeit hatten, als die inneren, und diess traf eben nur für die innere der beiden erwähnten Zonen zu, nicht aber auch zugleich für die äussere. Bei den Spiralnebeln z. B. erscheinen ebenfalls die äusseren Theile sehr verzögert in ihrer Bewegung gegenüber jener der weiter nach innen belegenen Partieen. Dieser Rettungsversuch ist recht scharfsinnig, nur sieht man nicht recht ab, warum nur bei den Begleitern von Uranus und Neptun*), nicht aber bei den Hauptkörpern selbst und nicht auch bei den unter wesentlich ähnlichen Verhältnissen entstandenen Saturnsmonden die Randgeschwindigkeit so erheblich zurückgeblieben sein sollte. Ohlert hat [42] für den Saturnsring beim dereinstigen Zerreissen Aehnliches in Aussicht gestellt.

§. 7. **Astronomische und physikalische Konsequenzen.** Gesteht man der Nebularhypothese ihre Richtigkeit zu, so kann man aus ihr so manchen interessanten Wahrscheinlichkeitsschluss für andere kosmologische Fragen entnehmen. Der Phantasie ist hier allerdings ein weiter Spielraum gegönnt, wie u. a. aus einer anonymen Abhandlung hervorgeht, welche den morphologischen Spekulationen des bekannten Kartographen Habenicht gewidmet ist [43]. Die Entstehung aller Unregelmässigkeiten im Erdrelief, die „Hemisphärenblasenbildungen", die Oberflächenbeschaffenheit des aus der Erde hervorgegangenen Mondes, die Schiefe der Ekliptik und andere Dinge werden dort in Verbindung gebracht mit der Theorie von Kant-Laplace. Insbesondere wird auf den Akt des Zerreissens eines Planetenringes Gewicht gelegt. In dem Momente nämlich, wo der endgültige Riss erfolgte, hätten sich beide Enden nach aussen umgebogen und zu Spiralen aufgewickelt, welche in einem der Trennungsstelle diametral gegenüberliegenden Punkte aufeinandergeprallt wären. Da die Bewegung der einen Spirale die wuchtigere war — welche, wird a. a. O. mit nicht sehr durchschla-

*) Auch bei dem einzigen sicher konstatirten Gefolgstern des Neptun hat sich nämlich Aehnliches ergeben. Der Neigungswinkel seiner Bahn gegen die mittlere Ebene der Trabantenbahnen ist sogar [41] ein noch weit grösserer, als bei Uranus.

genden Gründen nachzuweisen gesucht — so konnte der Zusammenstoss nicht zum Stillstand führen, vielmehr führte er die Umdrehung des sich neu bildenden Körpers und zugleich eine schiefe Neigung von dessen Aequator gegen die Bahnebene herbei. Die einzelnen Himmelskörper hätten nach der Vereinigung beider Spiralen die Form einer eingekerbten runden Frucht gehabt, und diese Kerbe soll auf unserer Halbkugel noch heute durch die tiefe Rinne des atlantischen Meeres angedeutet sein. Man sieht, dass diese für Manchen vielleicht sehr bestechenden Deduktionen in's Bereich der Konjekturalastronomie fallen.

Auf einem etwas festeren Boden fussen die Betrachtungen, welche Ohlert [44] über eine in früheren Zeiten anders beschaffene Vertheilung und Gestalt der Planetenbahnen angestellt hat. Während jetzt die Sonne sich nicht merklich von einer Kugel unterscheidet, muss sie damals, als sie dem ersten Planeten das Leben gab, die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides besessen haben, dessen Meridianellipse sehr weit vom Kreise abwich, und damit waren, wie wir in einem der folgenden Kapitel sehen werden, auch ganz andere Verhältnisse der Anziehung gegeben, und gerade so verhielt sich später jeder einzelne Planet den von ihm erzeugten Nebenplaneten gegenüber. In erster Linie musste die Umlaufsbahn der jüngsten Abkömmlinge in die Länge gedehnt werden, wie denn in der That die Excentricität der Merkursbahn, deren elliptischen Charakter wahrscheinlich schon König Alphons (im XIII. Jahrhundert) wahrgenommen hat [45], viermal so gross ist, als die grösste der vier oberen Planeten. Sehr im Rechte ist Ohlert auch da, wo er den von gewissen Theoretikern wohl zu beherzigenden Satz ausspricht [46]: „Wir dürfen uns nicht wundern, wenn weder das Bode-Titius'sche Gesetz, noch die ähnlichen Reihen für die Abstände der Jupiter- und Saturnsmonde, die man den Ergebnissen der Beobachtung geglaubt hat anpassen zu können, recht stimmen wollen, da die jetzigen Abstände jedenfalls beträchtlich von denen, die sie ursprünglich von ihrem Centralkörper hatten, abweichen."

Von grosser Bedeutung ist die Nebulartheorie, wenn es sich darum handelt, für die physische Konstitution der näheren und entfernteren Gestirne gewisse allgemeine Anhaltspunkte zu gewinnen. Das eine Axiom, von welchem Kant ausgegangen war, ist durch die Spektralanalyse nahezu zum Range eines bewiesenen Lehrsatzes erhoben worden, dasjenige nämlich, dass alle Materie bis hinein in die entfernten Räume, von denen das Licht erst in Jahrzehnten zu uns herabgelangt, im Wesentlichen von gleichartiger Beschaffenheit sei. Namentlich Huggins und Miller bekräftigen am Schlusse ihrer berühmten und erfolgreichen Arbeit über die Sternspektra [47], dass die nämlichen chemischen Elementarstoffe, aus welchen unsere Sonne sich zusammensetzt, bei sämmtlichen Fixsternen wiederkehren. Nicht minder hat die optisch-chemische Untersuchung der Nebelflecke, um welche die nämlichen beiden Forscher sich verdient gemacht haben [48], die Wahrscheinlichkeit dafür erhöht, dass diese kosmischen Gebilde in ihrer Mehrzahl nicht noch unaufgelöste Sternhaufen, sondern vielmehr wirkliche Dunstmassen in sehr hohem Temperaturzustande repräsentiren; aus den von G. Kirchhoff [49] entwickelten Fundamentalsätzen dürfte hervorgehen, dass die das Spektrum der sogenannten planetarischen Nebel charakterisirenden hellen Linien einer glühenden Gasmasse ihre Entstehung

verdanken, so zwar, dass nicht der mit nur geringer Emissionsfähigkeit begabte Kernkörper, sondern hauptsächlich die längs der Oberfläche desselben vertheilten glühenden Gasschichten das Licht entsenden. Nach Zöllner werden sich im Ganzen für jeden planetarischen Nebel, der schliesslich in ein Sonnensystem nach Art des unsrigen sich verwandelt, fünf Entwickelungsphasen nachweisen lassen [50], nämlich die Periode des glühend-gasförmigen Zustandes, die Periode des gluthflüssigen Zustandes, die Periode der Schlackenbildung, während deren eine kalte und dunkle Oberfläche sich zu bilden beginnt, die Periode der Eruptionen, während welcher die bereits starr gewordene Rinde noch ab und zu von der gluthflüssigen Masse des Inneren gewaltsam durchbrochen wird, und schliesslich die Zeit der vollendeten Erkaltung. Zur ersten Kategorie gehören alle planetarischen Nebel, solange sie noch keine Spur einer beginnenden Differentiirung erkennen lassen, zur zweiten die in ihrer Helligkeit unveränderten Fixsterne, doch tritt ein deutlicher Uebergang vom ersten zum zweiten Stadium schon bei jenen Nebelmassen hervor, in deren Innerem Fernröhre von grosser raumdurchdringender Kraft bereits einzelne ausgebildete Sternchen zu erblicken gestatten. Auch die Individuen der zweiten Klasse weisen Unterschiede auf, die eine entwickelungsgeschichtliche Deutung zulassen. Wie nämlich Secchi als eines der werthvollsten Ergebnisse langjähriger, dem nämlichen Ziele zugewandter Forschung ermittelt hat, zerfallen die Spektra aller Fixsterne in vier gesonderte Typen, deren letzter uns hier nicht besonders zu beschäftigen braucht [51]*); bereits Rutherfurd hatte [53] auf die Möglichkeit einer solchen Klassifikation angespielt. Der erste Typus umfasst eine überwiegende Anzahl der helleren Sterne (Sirius, Wega, Rigel im Orion u. s. w.); äusserlich sind dieselben durch ein weisses Licht mit leicht bläulichem Schimmer ausgezeichnet, und ihr Spektrum lässt neben vielen schwachen Absorptionslinien**) noch vier starke Streifen erkennen, wie sie auch das Wasserstoffspektrum in der Geissler'schen Röhre zeigt. Diesen Himmelskörpern muss also auch eine verhältnissmässig sehr grosse Hitze zugeschrieben werden, welche die meisten Stoffe noch verhindert, aus dem dissociirten Gaszustand sich heraus zu individualisiren, während

---

*) Diese Sterne, fast ausschliesslich in Schjellerup's Katalog der rothen Sterne verzeichnet, unterscheiden sich von den vorher genannten besonders darin, dass in ihrem Spektrum das Maximum der Lichtstärke gerade auf der entgegengesetzten Seite liegt [52].

**) Das Wesen der Spektralanalyse muss hier als bekannt vorausgesetzt werden; nur zur Auffrischung der Erinnerung mögen ein paar Worte über diese grosse Erfindung Bunsen's und G. Kirchhoff's — eine geschichtliche Beleuchtung der namentlich von W. Thomson für Stokes geltend gemachten Prioritätsansprüche ist bei Zöllner [54] nachzusehen — Platz finden. Wollaston und Fraunhofer hatten erkannt, dass wenn ein homogenes Lichtbündel prismatisch gebrochen wird. in dem entstehenden Streifen der Regenbogenfarben gewisse dünne schwarze Linien erscheinen. Dieselben rühren nun, wie jene deutschen Forscher fanden, davon her, dass das Sonnenlicht durch gewisse in Gasform der Sonnenatmosphäre einverleibte metallische Stoffe hindurchgeht, welche an und für sich bei der spektralanalytischen Untersuchung charakteristische Farbenstreifen genau an dem Orte wahrnehmen lassen, wo sich im solaren Spektrum die dunklen Streifen finden. Diese Umkehrung des Spektrums setzt uns demgemäss in den Stand, festzustellen, durch welche Gase oder Metalldämpfe das von einer fernen Lichtquelle uns zugeschickte Licht hindurchgegangen ist.

einzelne Elemente von sehr geringem Atomgewichte — darunter eben das Wasserstoffgas — doch bereits zu dieser Verdichtung gelangt sind. Das Licht der Sterne vom zweiten Typus besitzt einen mehr gelblichen Grundton (Capella, Aldebaran, Arktur), und ihr Spektrum deckt sich, besonders auch in Anbetracht der zahlreichen Absorptionsstreifen, so vollkommen mit jenem der Sonne, dass wir kaum fehlgehen können, wenn wir die letztere mit all' diesen Sternen in Eine Reihe stellen. Für den dritten Fixsterntypus, dessen Mitglieder äusserlich durch eine röthliche Färbung kenntlich sind, ist ein aus verwaschenen Streifen und breiten Bändern sich zusammensetzendes Spektrum bezeichnend, welches auf die absorbirende Wirkung grösserer Wolkenmassen schliessen lässt. Die Sterne des zweiten und dritten Grundtypus würden somit in die dritte der von Zöllner aufgestellten Kategorieen fallen*); dafür aber, dass der Abkühlungsakt bereits soweit fortgeschritten wäre, um einen Stern als zur vierten Kategorie gehörig zu signalisiren, würde dessen plötzliches Aufleuchten am Himmelsgewölbe gefordert werden müssen. Diess träfe zu für die neuen Sterne in der Kassiopeja und im Ophiuchus, an welche sich die Namen Tycho Brahe's (1572) und Johann Kepler's (1604) knüpfen, und diese Art von himmlischen Phänomenen würde in einen gewissen Gegensatz zu den veränderlichen Sternen treten, welche man bisher in den Lehrbüchern stets mit den ersteren vereint zu behandeln pflegte**). Unsere Planeten gehören unter diesem morphologischen Gesichtspunkte auch nicht mehr in dieselbe Rubrik, vielmehr sind in ihnen sehr verschiedene entwickelungsgeschichtliche Stadien und Uebergangsphasen vertreten, wie sich in den nächsten beiden Kapiteln des Näheren ausweisen wird. Bemerkt sei noch, dass Zöllner [59] durch Anwendung seines neu erfundenen Sternphotometers zur Bestimmung einer ganzen Reihe cölestischer Lichtintensitäten seinen deduktiven Schlüssen auch eine empirische Stütze verliehen hat. — Ja, Helmholtz ist sogar noch einen Schritt weiter gegangen und hat in einer höchst geistreich geschriebenen Abhandlung „über die Entstehung des Planetensystemes“ [60] gerade aus den Resultaten der spektralanalytischen Himmelsforschung heraus die Nothwendigkeit einer ursächlich begründeten kosmogonischen Hypothese darzuthun versucht, wie sie von Kant und Laplace geliefert wurde.

---

*) Für die Erklärung des von den sogenannten veränderlichen Sternen uns dargebotenen Phänomenes dachte man sonst wohl an eine Axendrehung oder auch, nach Klinkerfues [56], an eine Ebbe und Fluth in den lichtabsorbirenden Atmosphären zweier sehr nahe stehender und durch optische Hülfsmittel gar nicht mehr von einander zu trennender Doppelsterne. Dieser Gedanke verdient um so eingehendere Prüfung, als seitdem durch Schiaparelli Sternpaare von ganz überraschend kurzer Umlaufszeit um den gemeinsamen Schwerpunkt aufgefunden worden sind [56]. Uebrigens bringt Klinkerfues bei einer späteren Gelegenheit selbst seine Hypothese in Verbindung mit derjenigen von Kant-Laplace [56], indem er betont, dass man den Kondensationsprocess ja sehr wohl auch von zwei oder mehreren selbstleuchtenden Massen ausgehen lassen könne. „Ein solches System würde weniger durch Schwankungen in der Lichtproduktion, als durch den schnellen Wechsel der Absorptionsverhältnisse, in seinem Uebergangsstadium ähnliche Veränderlichkeit des Lichtes wahrnehmen lassen, als die Variablen zeigen.“

**) Auch Loomis hat, wie Cornelius mittheilt [58], den veränderlichen Sternen, wie der Sonne, dunkle Flecken zugeschrieben, deren wechselnde Zu- und Abnahme Schwankungen der Lichtintensität bedinge.

§. 8. **Das Endschicksal der Weltsysteme.** Sowie ein Weltkörper definitiv in das fünfte Zöllner'sche Stadium, das der völligen Erkaltung eingetreten ist, wie wir diess mit hoher Wahrscheinlichkeit bei unserem Erdmonde annehmen dürfen, kann derselbe auch kein passender Aufenthaltsort mehr für Organismen irgendwelcher Art sein, wir können ihn als einen abgestorbenen bezeichnen. In einem weiteren Sinne jedoch muss das individuelle Leben eines Sternes, vorab eines Planeten, als endlich begrenzt gelten. Es hat allerdings Schriftsteller gegeben, die, wie Czolbe [61], für eine absolute Anfangslosigkeit der Welt eingetreten sind, und diese müssen wohl auch Gegner der Nebularhypothese sein; allein wer der letzteren beipflichtet, wird mit Cornelius [62] zu einem zeitlichen Anfang und hiemit schon aus allgemein-philosophischen Gründen auch zu einem zeitlichen Abschlusse jenes Aggregates von Körpern gelangen müssen, welches man kurz als die „Welt" bezeichnet *). Die mechanische Wärmetheorie hat uns die Mittel an die Hand gegeben, mittelst des von ihr formulirten Satzes, dass die Entropie der Welt einem Maximum zustrebe, bestimmtere Vorstellungen über die schliesslichen Geschicke wenigstens unseres eigenen Sonnensystemes uns zu bilden. Die Bewegungen der den Centralkörper umkreisenden Planeten gehen nicht im leeren Raume, sondern, wie im nächsten Kapitel gezeigt werden wird, in einem Medium vor sich, das seiner grossen Feinheit ungeachtet den darin sich bewegenden Körpern einen gewissen Widerstand entgegensetzt und die grossen Bahnaxen verkleinert. So muss es kommen, dass nach und nach sämmtliche Planeten auf die Sonne herabstürzen, und wenn durch jedes einzelne Ereigniss dieser Art auch stets ein bedeutendes Quantum mechanischer Arbeit in Wärme umgesetzt wird **), so muss doch endlich einmal der Zeitpunkt eintreten, bei welchem die unausgesetzte Licht- und Wärmeabgabe der Sonne nicht mehr durch Zufuhr von aussen kompensirt werden kann. Die Amplitude der von uns mit dem Namen der Wärme belegten Aetherschwingungen muss kleiner und kleiner werden, und mit ihrem definitiven Verschwinden ist auch der endgültige Stillstand eingetreten; indess würde nach Clausius [65] schon dadurch eine Vernichtung jedweder Veränderung und damit der Tod der Natur herbeigeführt werden, dass alle Theilchen der Materie um stabile Gleichgewichtslagen schwingen. Man hat [66] an einen

*) Einer der schärfsten Denker auf dem Gebiete der Erkenntnisstheorie, A. Fick, erschliesst die Nothwendigkeit eines zeitlichen Beginnes, resp. eines Schöpfungsaktes aus der Thatsache, dass die Welt noch immer durch unsere Sinne zu uns in Beziehung tritt. Wäre dieselbe nämlich von Ewigkeit her da, so müsste der finale Zustand bereits erreicht sein — was Niemand zugeben wird [63].

**) Kennt man die Masse des auftreffenden Körpers, die Geschwindigkeit im Momente des Zusammenstosses und den Winkel, unter welchem die Bahn des Körpers die im Berührungspunkt beider Kugeln gelegte gemeinsame Tangentialebene trifft, so kann man die durch den Stoss erzeugte Wärmemenge vermittelst der Erfahrungswahrheit berechnen, dass (nach Joule) 425 Meterkilogramm einer sogenannten Kalorie entsprechen. Es ist sogar möglich, unter passenden Voraussetzungen Näherungswerthe für die aus dem ursprünglichen Ballungsakte der Stofftheilchen resultirenden Wirkungsgrössen und Wärmemengen zu berechnen. Redtenbacher hat diess gethan [64] und mit Zugrundelegung der Nebulartheorie ermittelt, dass die Anfangstemperaturen von Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Sonne sich zu einander verhalten wie 0,4 : 0,95 : 1 : 0,23 : 30 : 12 : 4 : 32.26.

periodischen Wechsel von Tod und Neubildung der Weltsysteme gedacht, und insbesondere hat Rankine in einer Sitzung der britischen Naturforschergesellschaft sinnreiche Gedanken über eine solche Wiederkehr des kosmischen Lebens ausgesprochen. Er knüpfte dem uns vorliegenden Berichte [67] zufolge an W. Thomson's Behauptung an, dass gegenwärtig im Weltall für alle in verschiedenen Formen auftretenden Bewegungs-Energieen, die wir Kraft, Licht, Magnetismus, Elektricität, Wärme oder wie immer nennen*), eine Tendenz bestehe, sich in Wärme umzusetzen, womit dann auch deren gleichmässige Zerstreuung durch die ganze Materie verbunden ist. Sowie dieser Process zum Abschlusse gelangt, von Temperaturunterschieden also keine Rede mehr wäre, würde der Stillstand im Universum eintreten; allein Rankine meint, diese zerstreute Energie könne sich doch wiederum in einzelnen Heerden koncentriren und aus den inaktiven Verbindungen, welche sich unausgesetzt bilden, könnten im gegebenen Falle neue Anhäufungen chemischer Kraft werden. Diese Idee verdiente es vielleicht, weiter verfolgt zu werden, während der weitere Schluss, dass an der Grenze des doch nur in endlicher Menge vorhandenen Weltäthers eine totale Reflexion eintreten und damit auch einige Koncentrationswärme entstehen müsste, zu mancherlei Bedenken Anlass giebt**). — Wie dem auch sei, wie auch das künftige Geschick unserer Welt sich gestalten möge, so viel hat uns die konsequente Analyse der kosmogonischen Vorgänge doch zur Evidenz bewiesen, dass unserem Sonnensystem noch eine sehr lange Dauer beschieden sein wird. Man vergleiche auch die von Wundt meisterhaft gekennzeichnete Gedankenreihe, welche sich vom Standpunkte des kriticistischen Phänomenalismus an das supponirte Faktum anknüpfen lässt, dass der Verwandlungs-Inhalt der Welt-Energie ein Grösstes werde [73].

---

*) Die hier angedeutete Ansicht, dass alle diese Agentien nur verschiedene Bethätigungen des nämlichen Urvermögens aller Materie seien, ist besonders von den englischen Naturforschern von jeher vertreten worden. Die klarste Darstellung dieser mit dem üblichen Kraftbegriffe vollständig brechenden Lehre hat Grove [68] gegeben.

**) Das Stabilitätsproblem des Sonnensystemes hat eine doppelte Seite, und oben ist von diesen nur die eine in's Auge gefasst worden. Früher begnügte man sich, die Frage rein mechanisch aufzufassen und nur zu untersuchen, ob nicht durch die Störungen, welche die einzelnen Bestandtheile des Systemes unausgesetzt auf einander ausüben, der Fortbestand desselben gefährdet werde. Hierauf ist durch die grossartigen Arbeiten Laplace's, zu denen Lagrange und Poisson noch einige Nachträge lieferten, ein endgültig verneinender Bescheid gegeben worden. Bei Möbius, der diese scheinbar so verwickelten Verhältnisse mittelst ganz einfacher geometrischer Betrachtungen klarzulegen weiss, lesen wir [69], dass die Garantie für eine unbestimmbar lange Dauer von drei Bedingungen abhängt: Die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne und damit auch die nach dem dritten Kepler'schen Gesetze von jenen abhängigen Umlaufszeiten müssen konstant sein, die Excentricitätenwerthe dürfen stets nur kleine Brüche bleiben, und endlich muss sich im Raume eine unveränderliche Ebene konstruiren lassen, mit welcher die einzelnen Bahnebenen nur ganz kleine Winkel bilden. Eine solche Ebene, deren Dasein bereits Kepler geahnt hatte, suchte zuerst Euler auf analytischem Wege zu ermitteln [70], doch gelang ihre exakte Bestimmung erst Laplace [71]. Die beste und umfassendste Auskunft über Alles, was mit dem mechanischen — nicht mit dem thermodynamischen — Theile der Frage nach der Dauer unserer Planetenwelt zusammenhängt, bietet der Artikel „Stabilitätsproblem" in Nürnberger's Lexikon, welcher von J. W. H. Lehmann herrührt [72].

[1] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Rücksicht auf Schöpfungsgeschichte, 1. Abtheilung, Gütersloh 1877. S. 200. — [2] Ibid. S. 240. — [3] Fr. Hoffmann, Geschichte der Geognosie und Schilderung der vulkanischen Erscheinungen, Berlin 1868. S. 54. — [4] Leibniz, Protogaea sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis, ed. Scheidt, Gottingae 1748. — [5] Zöckler, Geschichte etc., 2. Abtheilung, Gütersloh 1879. S. 143 ff. — [6] Ibid. S. 154 ff. — [7] Ibid. S. 166. — [8] Buffon, Les époches de la nature, Paris 1780. — [9] Zöckler, Geschichte etc., 2. Abtheilung. S. 520 ff. — [10] Steffens, Anthropologie, Breslau 1822. — [11] J. E. Silberschlag, Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, Berlin 1780—83. — [12] G. Chr. Silberschlag, Neue Theorie der Erde und ausführliche Untersuchung der ursprünglichen Bildung der Erde, nach den Berichten der heiligen Schrift und den Grundsätzen der Naturlehre und Mathematik, Berlin 1764. — [13] Späth, Ueber die Entstehung und Ausbildung des Sternhimmels oder Cosmogenie, Nürnberg 1815. — [14] Nyrén, Ueber die von Emanuel Swedenborg aufgestellte Kosmogenie, Vierteljahrsschr. d. astr. Gesellsch., 14. Jahrg. S. 80 ff. — [15] J. H. Lambert, Kosmologische Briefe über die Einrichtung des Weltbaues, Augspurg 1761. — [16] Kant, Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von J. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 93 ff. — [17] Ibid. S. 99. — [18] Ibid. S. 104 ff. — [19] Sir Isaac Newton's mathematische Principien der Naturlehre, deutsch von Wolfers, Berlin 1872. S. 394 ff. — [20] Kant, Schriften etc. S. 114 ff. — [21] Ibid. S. 122 ff. — [22] Ibid. S. 131 ff. — [23] Sommer, William Herschel, Ueber den Bau des Himmels, drei Abhandlungen aus dem Englischen übersetzt; nebst einem authentischen Auszuge aus Kant's Allgemeiner Naturgeschichte des Himmels, Königsberg 1791. S. 193. — [24] H. J. Klein, Entwickelungsgeschichte des Kosmos, Braunschweig 1870. S. 38. — [25] Zöllner, Ueber die Natur der Cometen; Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntniss (3. Aufl.), Leipzig 1883. S. 268 ff. — [26] Du Prel, Entwickelungsgeschichte des Weltalls, Leipzig 1882. S. 22 ff. — [27] J. Huber, Zur Philosophie der Astronomie, München 1878. S. 33 ff. — [28] Faye, Sur les idées cosmogoniques de Kant, à propos d'une réclamation de M. Schloetel, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XC, S. 124 ff. — [29] A. Meydenbauer, Kant oder Laplace? Kosmologische Studie, Marburg 1880. — [30] Laplace, Exposition du système du monde, Paris 1796. S. 343. — [31] Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, 3. Band. Leipzig 1870. S. 236 ff. — [32] Planté, Sur les nébuleuses spirales, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXXI, S. 749. — [33] Ennis, Physical and mathematical principles of the nebular theory, Philos. Mag. [5] Vol. III. S. 262 ff. — [34] Meissel, Ueber Reihen, denen man bei der numerischen Lösung des Problemes der drei Körper begegnet, wenn die Anfangsgeschwindigkeiten Null sind, Kiel 1882. S. 11. — [35] A. Ritter, Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und über die Constitution gasförmiger Weltkörper. Ann. d. Phys. u. Chem. (2), 11. Band. S. 344. — [36] Zöllner, Ueber die Natur etc. S. 92 ff. — [37] Ibid. S. 100. — [38] Budde, Zur Kosmologie der Gegenwart. Bonn 1872. S. 19. — [39] Newcomb, Populäre Astronomie, deutsch von Engelmann, Leipzig 1881. S. 388. — [40] Faye, Sur l'origine du système solaire, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XC, S. 637 ff. — [41] Newcomb, Pop. Astr. S. 394. — [42] Ohlert, Die Rückläufigkeit der Monde des Uranus, Gaea, 13. Jahrgang. S. 243. — [43] Die Theorie der sphärischen Kraterbecken, Grenzboten, 41. Jahrgang. S. 404 ff. — [44] Ohlert, Die Veränderung der Planeten und Mondbahnen in der Zeit der Bildung des Sonnensystemes, Gaea, 13. Jahrgang. S. 147 ff. — [45] Maedler, Geschichte der Himmelskunde von den ältesten bis auf die neuesten Zeiten, 1. Band, Braunschweig 1873. S. 351 ff. — [46] Ohlert, Die Veränderung etc. S. 157. — [47] Huggins-Miller, On the spectra of some of the fixed stars, Philosoph. Transact., 1864. S. 413 ff. — [48] Huggins-Miller, On the spectra of some of the nebulae, a supplement to the paper of the fixed stars, ibid. S. 437 ff. — [49] G. Kirchhoff, Ueber den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme, Ann. d. Phys. u. Chem. (1), 119. Band. S. 275 ff. — [50] Zöllner, Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper, Leipzig 1865. S. 241. — [51] Secchi, Die Sonne, deutsch von Schellen, Braunschweig 1872. S. 775 ff. — [52] Ibid. S. 781 ff. — [53] Rutherfurd, Astronomical observations with the spectroscope, Boston 1863. — [54] Zöllner, Ueber die Natur der Cometen etc. S. XXXIV ff. — [55] Klinkerfues, Ueber den Lichtwechsel der Veränderlichen, Nachr. der k. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, Sitzung vom 7. Januar 1865. — [56] Schiaparelli, Misure

di alcune principali stelle doppie di rapido movimento orbitale, Milano 1882. — [57] Klinkerfues, Ueber den neuen Veränderlichen bei ε Coronae Borealis, Nachrichten d. k. Gesellsch. d. Wiss., Sitzung vom 4. August 1866. — [58] Cornelius, Ueber die Entstehung der Welt, Halle 1870. S. 30. — [59] Zöllner, Phot. Untersuch. S. 264 ff. — [60] Helmholtz, Populäre wissenschaftliche Vorträge, 3. Heft, Braunschweig 1876. S. 99 ff. — [61] Czolbe, Die Grenzen und der Ursprung der menschlichen Erkenntniss im Gegensatze zu Kant und Hegel, Jena und Leipzig 1865. S. 130 ff. — [62] Cornelius, Ueber die Bedeutung des Causalprincips in der Naturwissenschaft, Halle 1867. S. 20 ff. — [63] A. Fick, Die Naturkräfte in ihrer Wechselwirkung, Würzburg 1869. S. 70. — [64] Redtenbacher, Die anfänglichen und gegenwärtigen Erwärmungszustände der Körper des Sonnensystemes, Karlsruhe 1862. — [65] Clausius, Abhandlungen zur mechanischen Wärmetheorie, 2. Band, Braunschweig 1876. S. 42 ff. — [66] H. J. Klein, Entwickelungsgesch. etc. S. 35. — [67] Rankine, Wiederkoncentrirung der mechanischen Energie des Weltalls, Sirius, 16. Band. S. 13 ff. — [68] Grove, Die Verwandtschaft der Naturkräfte, deutsch von v. Schaper, Braunschweig 1871. — [69] Möbius, Die Elemente der Mechanik des Himmels, auf neuem Wege ohne Hülfe höherer Rechnungsarten dargestellt, Leipzig 1843. S. 292 ff. — [70] L. Euler, De circulo maximo fixo in coelo constituendo, ad quem orbitae planetarum et cometarum referuntur, Novi Comment. Soc. Petrop., tom. XX. S. 509 ff. — [71] Laplace, Traité de mécanique céleste, Vol. I, Paris 1799. S. 318 ff. — [72] Nürnberger, Populäres astronomisches Handwörterbuch, 2. Band, Kempten 1848. S. 475 ff. — [73] Wundt, Ueber das kosmologische Problem, Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos., 1. Jahrgang. S. 80 ff.

Kapitel II.

Die physische Konstitution der Körper des Sonnensystemes.

§. 1. **Die Sonne.** Für fast alle Probleme der tellurischen Physik hat sich der Centralkörper unseres Planetensystemes als ein höchst einflussreicher Faktor herausgestellt. Die Attraktionswirkung der Sonne bedingt neben derjenigen des Mondes die periodischen Wallungen der Meere und nach einer wenigstens sehr verbreiteten Meinung auch gewisse Schwankungen in unserer Lufthülle und in dem feurig-flüssigen Erdkern; die Licht- und Wärmemengen, welche unsere Erde je nach ihren verschiedenen Stellungen zur Sonne von dieser zugesandt erhält, treten uns als Ursachen der mannigfachsten meteorologischen und hydrologischen Veränderungen entgegen, und unmittelbar davon abhängig erweist sich alles organische Leben. Die physische Beschaffenheit der Sonne muss demnach auch ein wichtiges Studienobjekt für uns bilden. Von einem solchen Studium kann natürlich erst seit der Erfindung des Fernrohres die Rede sein, doch haben auch nach diesem Zeitpunkte mehr denn zwei Jahrhunderte unser Wissen vom Sonnenkörper nicht in dem Maasse gefördert, wie die kurze Spanne Zeit, welche die Gegenwart von der ersten Anwendung der Spektralanalyse und der Sternphotographie trennt. Seitdem erst darf dieser Theil der Astrophysik, um welchen sich ein Spörer, Vogel, Lockyer, Janssen, Secchi, Tacchini und viele Andere hohe Verdienste erworben haben, mit anderen Theilen der Wissenschaft sich in Eine Reihe stellen.

Was wir von der Sonne, sei es nun mit unbewaffnetem oder mit bewaffnetem Auge, wahrnehmen, ist die sogenannte Photosphäre, die leuchtende Oberfläche. Gewisse unregelmässige Lichtanhäufungen und Lichtdefekte in derselben werden als Sonnenfackeln und Sonnenflecke bezeichnet. Die freilich nur selten eintretenden Erscheinungen totaler oder ringförmiger Sonnenfinsternisse haben uns auch die Möglichkeit verschafft, die fernere Umgebung des Sonnenrandes etwas genauer kennen zu lernen, und da fand es sich, dass um die Photosphäre herum noch ein weiterer Kugelring aus schwächer leuchtender Materie sich lagert, welcher von seinen Entdeckern den Namen der Chromosphäre erhalten hat. Gewisse Einzelbestandtheile dieser Chromosphäre, die Protuberanzen, ziehen neuerdings die Aufmerksamkeit der Forscher am meisten auf sich. Jenseits dieser Hülle endlich begegnen wir der Korona.

§. 2. **Die Photosphäre.** Bei gehöriger Vergrösserung erkennt man, dass — von den eigentlichen Flecken völlig abgesehen — die Oberfläche der Sonne durchaus nicht in gleichförmigem Lichte leuchtet; dieselbe erscheint nach Secchi [1] bedeckt mit einer unendlichen Anzahl kleiner Körner von annähernd gleicher Grösse, aber sehr verschiedener Gestalt, deren Zwischenräume sich zu einem weit weniger hellen Netzwerk aneinanderreihen. Man spricht häufig von den Reiskörnern der Photosphäre, weil das granulirte Aussehen derselben den Eindruck einer Flüssigkeit mit darin aufgelösten Körnern hervorruft. Die von Nasmyth geäusserte Ansicht, dass diese sonderbare Struktur durch über einander liegende schmale Objekte, die Weidenblätter, hervorgerufen werde, konnte schon Secchi [2] nicht völlig theilen, und heute ist, wie wir aus dem zusammenstellenden Referate Newcomb's [3] entnehmen, durch die Beobachtungen von Langley und Janssen so viel festgestellt, dass diese Granulationen durch wirr verstreute kleine Lichtpunkte, die sich ab und zu zu grösseren Körnern zusammenballen, bedingt sind. Die kleinsten noch sichtbaren Einzelkörperchen mögen etwa eine lineare Ausdehnung von 200 km besitzen. „So scheinen also“, diess sind die Schlussworte Newcomb's [4], „nach unseren jetzigen Kenntnissen in den helleren Regionen der Photosphäre wesentlich drei Aggregationsformen zu bestehen: wolkenähnliche Gebilde, die jederzeit sichtbar sind; Lichtknoten oder Reiskörner (Weidenblätter), in welche sich die Wölkchen auflösen, und die mit einem guten Fernrohr bei guter Luftbeschaffenheit stets gesehen werden können; endlich die kleinen, die Körner bildenden Lichtpunkte.“

§. 3. **Fackeln und Flecke.** Schon bald, nachdem die Sonne unter teleskopische Beobachtung genommen war, erkannte man die Flecke und die meistentheils in deren nächster Umgebung anzutreffenden helleren Stellen, welche man als Sonnenfackeln bezeichnete. Dieselben kommen allenthalben auf der Sonne vor und meiden besonders die Pole nicht; ihre Dimensionen sind oft ungeheure, wie denn Secchi von einer Fackel spricht, welche sich wie eine grosse Lichtwelle über die Hälfte der Sonnenscheibe erstreckt habe [5]. Man kann im Allgemeinen deren Entstehung einem aufsteigenden heissen Luftstrom — das Wort „Luft“ natürlich im solaren Sinne genommen — zuschreiben

und annehmen, dass dieselben sich etwas über dem Durchschnittsniveau der Photosphäre befinden; der französische Astronom Liais, der manche hervorragende Arbeit über Sonnenphysik veröffentlicht hat, spricht sich darüber folgendermassen aus [6]: „Dans les points où la photosphère s'élève au-dessus de son niveau général, on devra voir des facules.“ Neuerdings beginnt man sich für die den Flecken gegenüber längere Zeit ein wenig vernachlässigten Fackeln aus dem Grunde wieder mehr zu interessiren, weil man ihre nahe Verwandtschaft mit den Protuberanzen erkannt zu haben glaubt.

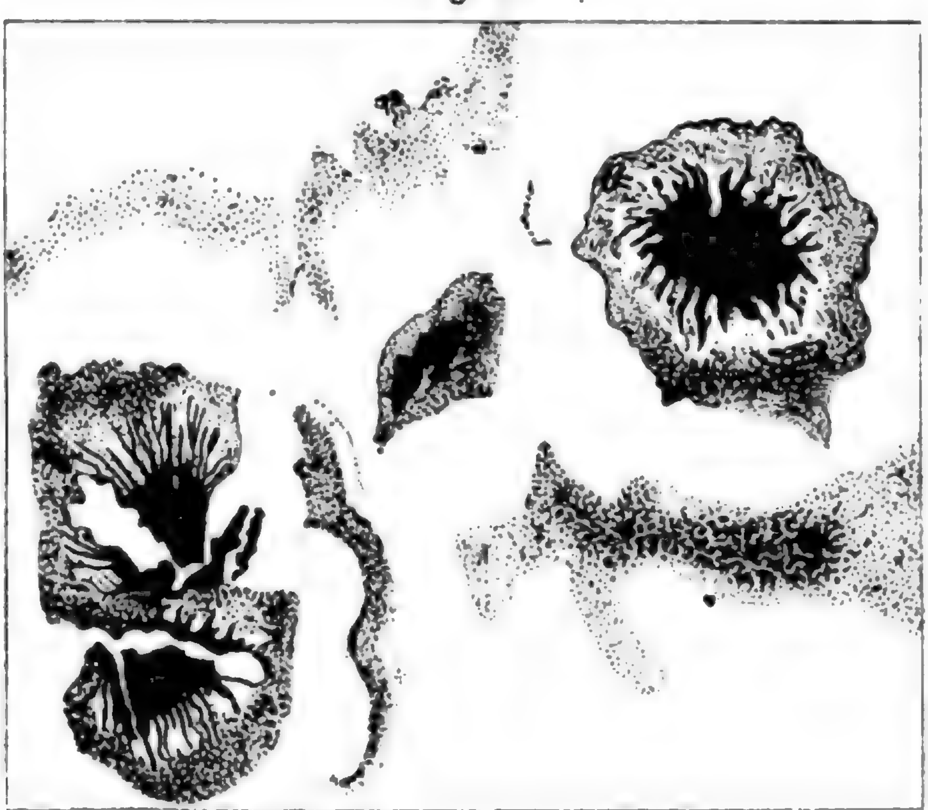
Sonnenflecke von ungewöhnlicher Grösse haben mit blossem Auge oder auch (nach Seneca) mit einem Hohlglas, in welches Oel gegossen war, bereits die Römer und Araber wahrgenommen, doch hielten sie dieselben für einen auf der Sonnenscheibe schwarz erscheinenden Planeten, wie denn selbst Kepler 1607 einen Merkurdurchgang wahrgenommen zu haben glaubte. Die chinesischen Annalenschreiber waren mit den Flecken als solchen bereits ganz gut bekannt und überlieferten uns in Betreff derselben manch' schätzenswerthe Nachricht. Als Galilei das erste astronomische Fernrohr zusammengesetzt hatte, bemerkte er auch die von Licht entblössten Stellen in der Sonne und erwähnte derselben in einem Nachtrage [7] zu seinem berühmten „Sidereus Nuntius“, doch hat wohl R. Wolf Recht, wenn er sagt, dass in der Fülle seiner Entdeckungen der grosse Naturforscher gerade über die hier in Frage kommende sich nicht völlig klar geworden sei [8], und insoferne kann der Jesuit Scheiner, der sein Teleskop allerdings etwas später erst nach der Sonne richtete, dafür aber die volle Wichtigkeit der Flecke erkannte und sich in einem voluminösen Werke [9] darüber verbreitete, recht wohl als Mitentdecker gelten. Jedenfalls darf diese Ehre der jüngere Fabricius beanspruchen [10], der schon im December 1610 die „Ungleichheiten“ und „Rauhigkeiten“ der Sonnenoberfläche sah und richtig deutete, und wahrscheinlich war auch Harriot, von dem wir eine konsequent durchgeführte Beobachtungsreihe im Manuskript überkommen haben, unabhängig zu seinem Funde gelangt. Von nun ab hat es nie an Astronomen gefehlt, welche dem Studium der Sonnenflecke ihre Aufmerksamkeit zuwendeten; den Marius und Cysatus reihten sich Vater und Sohn Kirch, Rost, Staudacher im XVIII. Jahrhundert an; Flaugergues, Placidus Heinrich, A. Stark u. A. brachten ein respektables Material zusammen, und Schwabe endlich liess fast ein halbes Jahrhundert hindurch kaum einen Tag vergehen, an welchem er nicht mit seinem guten Instrumente das Centralgestirn betrachtete [11]. R. Wolf hat sich die gewaltige Aufgabe gestellt, in den von ihm herausgegebenen „Astron. Mittheilungen“ nach und nach die gesammte auf Sonnenflecke bezügliche Literatur zusammenzustellen und kritisch zu verarbeiten, und man darf sagen, dass diese Riesenaufgabe heute schon für gelöst angesehen werden kann.

Galilei erblickte in diesen Unterbrechungen der Lichthülle etwas Wolkenartiges, Fabricius und Marius dachten an Schlacken, die von dem brennenden Körper ausgestossen würden, Andere wieder, wie Scheiner, Tarde und Malapert, wollten aus metaphysischen Gründen keine Verunreinigung der Sonne zugeben und erklärten die nicht wegzuleugnenden Flecke deshalb für kleine um jene kreisende Planeten

[12]. Die von Rost angedeutete Idee, dass die Flecke kraterförmige Vertiefungen seien, findet sich in etwas anderer Form auch bei Hausen [13] vor; Wiedeburg nahm an, dass kleine Körperchen sich unaufhörlich in die Sonne stürzten [14], wie ja heute von den Meteoriten ganz Aehnliches angenommen wird. Eine offenbare Folge der Thatsache, dass man in jener Zeit mit den Mondbergen sich angelegentlicher zu beschäftigen begann, ist es, wenn D. Cassini und De la Hire die Berge des angeblich dunklen Sonnenkörpers durch die denselben umfluthende und nicht selten zerreissende Lichtumhüllung herausblicken lassen [15]. „Sonderbar genug", meint Kästner [16], „dass eine und dieselbe Erscheinung dem einen Beobachter Erhöhung, dem anderen Grube ist." Diese angesichts der ungeheuren Entfernung des zu prüfenden Gegenstandes doch kaum so sehr auffällige Zwiespältigkeit der Ansichten wird uns auch späterhin noch öfter begegnen. Jedenfalls wusste jene Anschauung, die eben in den Flecken Vertiefungen sah, gewaltig Boden zu erringen.

§. 4. **Die Wilson-Herschel'sche Hypothese.** Um das Wesen dieser dereinst allmächtigen und selbst jetzt noch vielfach nachwirkenden Theorie der Sonnenflecke zu verstehen, ist es nöthig, sich einen solchen genauer im Detail anzusehen. Fig. 2 stellt uns einige derselben vor

Fig. 2.



Augen, und namentlich dürfte der nach Secchi's Zeichnung [17] reproducirte Fleck rechts oben die Bezeichnung eines typischen verdienen. Eine Anzahl von Körnern (s. o. §. 2) drängen sich zusammen; zwischen ihnen erscheint [18] ein kleiner runder schwarzer Kreis von unregelmässiger Begrenzung, eine Pore. Soll es zur Bildung eines Sonnenfleckes (im engeren Sinne) kommen, so schieben sich diese Poren mit grosser Schnelligkeit hin und her, eine derselben gewinnt die Oberhand

und verbreitert sich; häufig freilich, wenn die Photosphäre sich nicht in Ruhe befindet, vollzieht sich die Fleckbildung in weit stürmischerer Weise [19]. Als Bestandtheile unterscheidet man den tiefschwarzen Kern und die hellere, wennschon noch deutlich gegen die umgebende Helle abstechende Penumbra. Ist endlich der Process als beendigt anzusehen, so nimmt der Kern eine annähernd kreisrunde Gestalt an, und gleich darauf beginnen von Neuem Lichtfäden, die sogenannten Brücken, sich über ihn hinwegzuspinnen [20] (vgl. die Figur), so dass im Momente der höchsten Vollendung zugleich auch bereits die Vernichtung beginnt. Im Inneren der Flecke zeigt sich nicht selten eine wirbelnde Bewegung. Um noch von der Penumbra im Besonderen zu sprechen, so bemerkt man in ihr gewöhnlich die von Dawes mit dem Namen Strohbündel belegte parallele Lagerung der einzelnen Lichtbündel, während die kleinen in den Rand hinein verstreuten Flecke sich zu einer Art Schweif des Kernfleckes zusammensetzen [21]. Die rothgefärbten Schleier, welche die centralen Partieen des Gebildes nicht selten überdecken, sind nach Secchi nicht etwa blos aus subjektiver Täuschung zu erklären, sondern wirklich vorhanden [22].

Schon aus der bisherigen Beschreibung mag hervorgehen, dass ohne besonderes Aufgebot der Phantasie recht wohl diese Flecke für Höhlungen in der Photosphäre gehalten werden können. Dieser Eindruck musste sich noch verstärken, wenn man sah, dass in Folge der Axendrehung der Sonnenkugel die dunklen Stellen sich auf dieser fortbewegten und dadurch auch eine Gestaltänderung erlitten. In dem Maasse nämlich, als der Fleck dem Rande sich nähert, verschwinden seine centralen Theile, bis zuletzt nur noch die eine Hälfte der Penumbra sichtbar ist, und weiterhin verschwindet allgemach auch diese. Nach bekannten Lehren der Perspektive musste sonach angenommen werden, man habe es hier mit einer in die Lichthülle sich einsenkenden Kluft zu thun, und Wilson fand allgemeinen Anklang bei dem gelehrten Publikum, als er es unternahm, die hier nur angedeutete Ansicht, dass die Sonnenflecke Höhlungen seien, tiefer zu begründen und darauf eine neue Theorie dieser eigenthümlichen Gebilde aufzubauen [23]. Einige Jahre vorher waren von einem württembergischen Astronomen, Schülen, ähnliche Vermuthungen geäussert worden [24], und auch Bode sprach sich in diesem Sinne aus, noch ehe er von Wilson's Veröffentlichung Kenntniss hatte; der Kernfleck ist ihm nichts Anderes als der lichtlose Sonnenkörper selber, welchen man durch eine Lücke in der Photosphäre erblickt, während zwischen der letzteren und der Sonnenkugel eine nur matt erleuchtete Zwischenschicht eingeschaltet ist, von welcher eben die Penumbra einen kleinen Theil darstellt. Der Grund des entstandenen Trichters erscheint mehr oder minder dunkel, „je nachdem die Oeffnung in der Oberfläche des Sonnenkörpers sandiges oder felsiges Erdreich, oder Meere trifft“ [25]. In etwas weitherziger Auslegung können sogar einzelne Stellen aus den Schriften des Kardinals Nicolaus v. Cusa beigezogen werden, aus denen hervorgeht, dass dieser geistreiche Polyhistor den Sonnenkern dunkel und von einer nach aussen zu heller und heller werdenden Atmosphäre umgeben annahm: dass man freilich mit Clemens [26] um dieses gelegentlich hingeworfenen Gedankens willen in dem Kirchenfürsten einen

wirklichen Beobachter von Sonnenflecken — 150 Jahre vor Erfindung des Fernrohres — anerkennen werde, glauben wir nicht.

Wilson's Anschauungen begannen gleichwohl erst von dem Zeitpunkte an zur allgemeinen Anerkennung durchzudringen, als der grosse William Herschel mit dem ganzen Schwergewichte seiner Autorität für dieselben einzutreten begann. Wolf drängt [27] die Quintessenz der bezüglichen Abhandlung [28], welche im Jahre 1801 erschien, in die nachstehenden Sätze zusammen: „Die Sonne ist ein dunkler Körper und mit einer transparenten Atmosphäre umgeben, auf welcher die wolkenähnliche Photosphäre schwimmt: zuweilen steigen von dem Sonnenkörper Dämpfe auf und zerreissen die Photosphäre, so dass man auf den relativ dunkeln Sonnenkörper hinabsieht, und so glaubt man einen dunkeln Fleck zu sehen, der, wenn man noch rings um ihn etwas von den tiefer liegenden, wolkenartigen Theilen der Photosphäre sieht, von einer Art Hof eingefasst scheint.“ Diese hier allerdings nur in ihren Umrissen skizzirte Theorie hat sich als äusserst zählebig erwiesen; hervorragende Männer, wie Arago und A. v. Humboldt [29], haben sich zu ihr bekannt, und erst in der neuesten Zeit hat sich den Fachmännern mehr und mehr die Ueberzeugung aufgedrängt, dass dieselbe weder die feineren Beobachtungen ausreichend genau darstelle, noch auch mit gewissen physikalischen Grundwahrheiten harmonire. Namentlich blieb es unbegreiflich, wie der eigentliche Sonnenkörper in nächster Nähe einer glühenden Gasmasse, der Photosphäre, nicht auch allmählich bis zur Gluthhitze erwärmt werden sollte, und wenn John Herschel diesem Einwand damit begegnen zu können glaubte, dass eine absolut reflektirende Dunsthülle den Kern gegen die Strahlung der Wärme sehr wohl schützen könne, so ist dieser mit grosser Sicherheit vorgetragenen Behauptung [30] entgegenzuhalten, dass solche Stoffe unseren sonstigen Erfahrungen nach überhaupt nicht existiren, von den doch auch vorhandenen Konsequenzen der Wärmeleitung ganz zu geschweigen. So durfte denn G. Kirchhoff mit Recht sagen, die Herschel'sche Hypothese müsse von einer fortschreitenden Naturlehre selbst dann aufgegeben werden, wenn diese nichts Besseres an ihre Stelle zu setzen hätte. Glücklicherweise ist Letzteres aber möglich.

§. 5. **Neuere wissenschaftliche Hypothesen.** Hierher rechnen wir die Wolkentheorie G. Kirchhoff's, die Schlackentheorie Zöllner's und die von Reye und Faye — allerdings mit nicht unerheblichen Verschiedenheiten — vertretene Trombentheorie. Eine endgültige Entscheidung zwischen diesen drei auf dem Boden der modernen Physik erwachsenen Hypothesen hat die Wissenschaft noch nicht getroffen, dieselbe muss vielmehr einer vielleicht ziemlich fernen Zukunft überlassen bleiben.

Nachdem Kirchhoff aus seinen spektralanalytischen Untersuchungen [31] den Schluss gezogen hatte, dass nicht eine glühende Lufthülle, sondern der weissglühende Sonnenkörper selbst uns leuchtende und wärmende Strahlen zusende, dass ihn jedoch ein Mantel glühender Gase umgebe, in welchem zahlreiche der Erde angehörige Elemente in aufgelöstem Zustande sich befinden, entwickelte er weiter die Analogieen, welche zwischen den atmosphärischen Vorgängen auf

der Sonne und auf unserer Erde obwalten. Hier wie dort ist die Temperaturvertheilung keine ganz gleichmässige, hier wie dort müssen sich lokale Temperaturerniedrigungen ergeben, und mit solchen wird auf beiden Himmelskörpern eine Wolkenbildung eingeleitet. Ueber jeder sich neu bildenden Wolke entsteht ein kühlerer Raum, die Wolke wächst von oben her an und kühlt sich unter Umständen bis zu einem unter der Gluthhitze liegenden Wärmegrade ab, so dass sie auch undurchsichtig wird, und in diesem Zustande erscheint sie uns als der Kern eines Sonnenfleckes. In höheren Regionen aber kommt eine zweite Wolke zu Stande, minder dicht als die frühere und theilweise durchsichtig, so dass sie bei entsprechender Ausdehnung wie ein Halbschatten neben der tiefer liegenden Wolke gesehen wird. Die bis dahin als maassgebend festgehaltene Auffassung der Flecke als Vertiefungen muss nach Kirchhoff fallen gelassen werden, insofern sie sich auf eine optische Täuchung zurückführen liesse.

Zöllner steht, was den Ausgangspunkt seiner Gedankenreihe anlangt, mit G. Kirchhoff auf gleichem Boden, indem er [32] mit Letzterem als bewiesen annimmt, dass der glühende Sonnenkern dem festen oder tropfbarflüssigen Aggregatzustand angehöre, und diese Thatsache auf Grund seiner an den Protuberanzen gewonnenen Ansichten dahin verschärft, dass weit gewichtigere Argumente für die zweitgenannte Annahme sprechen. Dagegen widerspreche es Allem, was wir von den irdischen Wolken wissen, dass solch' leichtvergängliche Gebilde auf der Sonne durch Wochen hindurch ihre Gestalt im Wesentlichen beibehalten sollten. Zöllner glaubt, dass dieser Charakter verhältnissmässiger Invariabilität sich nur mit dem festen Aggregatzustand gut vertrage. An der Sonnenoberfläche müssen die Luftströmungen des Aequatorial- und Polarstromes ganz ähnlich auftreten, wie an der Erdoberfläche, und da, wo beide Ströme sich durchdringen — also in dem unserer Kalmenzone entsprechenden Gebiete — werden Trübungen zu bemerken sein. Es wird diess am Aequator und zugleich in der Nähe der Pole der Fall sein, und diese Gegenden werden mithin, da in ihnen die Ausstrahlung mehr oder weniger verzögert ist, der Fleckenbildung sich ungünstig erweisen. Innerhalb eines jeden Passatgürtels dagegen ist die Atmosphäre ruhig und klar, die Wärmestrahlung des Sonnenkörpers hat nur mit einem Minimum von Hindernissen zu kämpfen, und so können sich auch mit Leichtigkeit schlackenartige Absonderungen auf der glühendflüssigen Oberfläche bilden. Diese ausgestossenen Massen repräsentiren die schwarzen centralen Partieen der Flecke, die Penumbra dagegen soll ihre Entstehung dem Umstande verdanken, dass rings um die Schlacke herum die Temperatur sinkt und Wolken sich ansammeln, welche, in absteigender Bewegung begriffen, nach dem Rande des Fleckes sich senken und eine trichterförmige Vertiefung hervorbringen. Man sieht, dass Zöllner dasjenige, was ihm an Kirchhoff's und auch an Wilson's Hypothese richtig erschien, geschickt in sein eigenes System hinein zu verweben verstand, und insbesondere mit Rücksicht auf das zuletzt Gesagte ist es nicht recht begreiflich, dass Secchi die Zöllner'sche Lehre von den Sonnenflecken um desswillen verworfen wissen wollte, weil sie von den Höhlungen keine Rechenschaft gebe [33]. Beachtenswerthere Bedenken sind von Reye geltend gemacht worden, namentlich in dem Sinne,

dass noch viel weniger als Kirchhoff's Wolken die Zöllner'schen Schlackenmassen sich längere Zeit hindurch erhalten könnten, da, wenn man etwa annehme, der fünfte Theil der zugesandten Wärmemenge werde von ihnen absorbirt, schon dieses Fünftel im Verlaufe eines Monates eine Eisschicht von 90000 m Mächtigkeit zu schmelzen vermöge [34]. Es will uns bedünken, dass Zöllner diesen anscheinend durchschlagenden Gegengrund durch theoretische Betrachtungen mit Glück zurückgewiesen hat, indem er nämlich zeigte [35], dass hier eine Verwechselung der Zeit als eines Maasses der Wärmestrahlung mit jener Zeit vorliegt, welche zur Verwandlung der ausgestrahlten Wärmemenge in ein ihr äquivalentes Arbeitsquantum erfordert wird.

Reye selbst stellt den früheren Ansichten eine neue gegenüber, die sich auf die Aehnlichkeit resp. Identität der terrestrischen und solaren Luftbewegungen stützt. Ueber einem aus irgend einem Grunde besonders heissen Punkte der Sonnenoberfläche werden [36] die dort befindlichen unteren Schichten von Gasen und Metalldämpfen überhitzt, sie steigen auf und dehnen sich aus. In einer gewissen Höhe erkaltend verdichten sie sich wieder, eine Quantität bisher latent gewesener Wärme wird frei und verstärkt den Auftrieb der übrigen Dampf- und Gasmassen, und es bildet sich eine rasch wachsende Wolke: „die Sonnenflecke sind wolkenartige Verdichtungsprodukte in den unteren Regionen der Sonnenatmosphäre, welche sich ähnlich wie die grossen Wolkenschichten der irdischen Cyklonen von unten her erneuern.“ Die Theorieen von Reye und Faye [37] stimmen darin überein, dass cyklonen- und trombenähnliche Vorgänge zur Erklärung der Sonnenflecke herangezogen werden, nur nimmt der deutsche Mathematiker, wie erwähnt, eine wirbelnde Bewegung von unten nach oben, der französische Astronom dagegen eine solche von oben nach unten an. Zwischen beiden Gelehrten haben neuerlich lebhafte Auseinandersetzungen über die relativen Vorzüge ihrer Hypothesen stattgefunden, wobei Reye mit Recht hervorhob [38], dass sein Widerpart die bedeutende Druckabnahme im Inneren einer Trombe gänzlich ausser Acht lasse und auch die Kraft gar nicht zu erklären versuche, welche das Herniedersteigen der Wettersäulen bedinge. Freilich ist aus Tacchini's und Secchi's Beobachtungen zu schliessen, dass die Wirbeltheorie für sich allein überhaupt noch nicht die ausreichende Grundlage der Erklärung bietet, weil sonst viel häufiger jene spiralförmigen Bewegungsvorgänge in den genannten Gebilden zu konstatiren sein müssten, als diess insbesondere nach Tacchini's Zeugniss zutrifft. Daran, dass man an den Flecken gar keine eigene Drehung wahrnimmt, stösst sich, wie Newcomb berichtet [39], auch Young, der im Uebrigen die Faye'sche Theorie für die zureichendste hält, worin er mit seinem Landsmann Langley [40] übereinstimmt.

Mit Zöllner's Anschauungen haben sich dagegen in jüngster Zeit Bredichin, Lohse und Spörer*) — wenigstens im Grossen und Ganzen — einverstanden erklärt [41]. Es kommt der Umstand hinzu, dass diese Hypothese wohl am besten dazu sich eignet, einer

*) Es ist dieser Beitritt eines der hervorragendsten Astrophysiker unserer Zeit für die Zöllner'sche Auffassung ein um so werthvollerer Gewinn, weil Spörer sich früher mehr der Kirchhoff'schen Wolkentheorie zugeneigt hatte.

Reihe weiterer merkwürdiger Erscheinungen zur Erklärungsbasis zu dienen, von welchen im nächsten Paragraphen die Rede sein soll*).

Endlich sei noch der ganz isolirt dastehenden Hypothese v. Lüdinghausen-Wolff's [42] gedacht, welche nur scheinbar an die von Herschel vertretenen Anschauungen wieder anknüpft. Ihm sind allerdings die Sonnenflecke Vertiefungen, durch welche man auf den Sonnenkörper selbst hinabsieht; dieser aber ist nicht etwa dunkel im gewöhnlichen Sinne, sondern so furchtbar überhitzt, dass unser Auge den von ihm ausgesendeten ungeheuer kurzwelligen Lichtstrahlen gegenüber den Dienst versagt, wie auch das Ohr nur innerhalb gewisser Grenzen der Wellenlängen den Eindruck eines Tones empfängt. Es erscheint jedoch nicht ungefährlich, im Weltall mit Gesetzen zu operiren, für welche uns die irdische Physik zur Zeit noch nicht die Analogie geliefert hat. — Nach Adams und Reis sind die Flecke „Roststaubwolken" (Die Sonne, Mainz 1869).

§. 6. **Rotation, Fleckenvertheilung und Fleckenperiodicität.** Scheiner war es, der zuerst die Rotationszeit der Sonne und die Lage des Sonnenäquators bestimmte [43], indem er sich an gewisse Flecke von charakteristischer Gestalt hielt, die am einen Sonnenrande verschwanden und nach Umfluss einer bestimmten Zeit am anderen Rande wieder zum Vorschein kamen. Hausen (s. o.), Boscovich, Delisle, Euler, Sylvabelle, Kästner, Fixlmillner haben ihre Kräfte an dem gleichen Probleme versucht, dessen Lösung durch die neueren Arbeiten von Kysaeus [44], Böhm [45] und Spörer [46] bis zu einem hohen Grade der Genauigkeit gefördert wurde. Doch kann dieser Grad der Natur der Sache nach nicht verglichen werden mit jenen Genauigkeitsgrenzen, die sich bei Bestimmung der Rotationsdauer anderer Himmelskörper von starrer Oberfläche erzielen lassen, und wir müssen zufrieden sein, dieses wichtige astronomische Zeitelement in das Intervall von 25—27 Tagen einzuschliessen [47] (s. u.). Die synodische Umdrehungszeit, d. h. jene Zeit, welche vergeht, bis derselbe Beobachter den nämlichen Fleck auch wieder an der nämlichen Stelle der Sonnenoberfläche erblickt, ist um etwa 2 Tage grösser, weil ja der Beobachter nicht stille im Raume steht, sondern mit der Erde eine Bewegung macht, welche der Rotationsbewegung der Sonne gleichgerichtet ist.

Die erwähnte Schwierigkeit, die Rückkehr eines bestimmten Fleckes chronologisch genau zu fixiren, ist eben darin begründet, dass dieser Fleck der in fortwährender Wallung begriffenen Oberfläche des Centralkörpers angehört und mit einer oft nicht unbeträchlichen Einzelbewegung begabt ist. Es ward bereits erwähnt, dass aus theoretischen Gründen auf eine gewisse Driftströmung in der Sonnenatmosphäre geschlossen werden muss, in Folge deren zwei den Passatzonen der Erde entsprechende Sonnengürtel als zur Fleckenbildung besonders prädisponirt erscheinen, und dieses Ergebniss der Theorie hat sich durch

*) Man möge nicht vergessen, dass die Deutung der Flecke als schlackenartiger Absonderungen sich am besten an die Konsequenzen anschliesst, welche wir oben (Kap. I, §. 7) aus der Kant-Laplace'schen Hypothese zogen, indem ja dort die Sonne als ein Mitglied des zweiten Fixstern-Typus von Secchi erkannt ward.

die Beobachtungen auch im Wesentlichen bestätigt gefunden. Nach Sömmering und Thilo [48] existiren auf der Sonne Streifen meridianaler Richtung, innerhalb deren viele Jahre hindurch überhaupt kein Fleck sich bildet, und anderwärts drängen sich die Flecke wieder zu dichten Gruppen zusammen. Wenn nun Passatströmungen für die Fleckebildung ein maassgebendes Moment sind, so ist die Annahme gerechtfertigt, dass die Eigenbewegung eines Fleckes von seiner heliographischen Breite sich abhängig zeigt, und da die wirklich wahrgenommene Bewegung die Resultante aus dieser Eigenbewegung und der Drehbewegung des Sonnenkörpers darstellt, so wird ein Gleiches auch von dieser gelten. Nach Zöllner kann die Winkelgeschwindigkeit eines unter der heliographischen Breite φ gelegenen Ortes mit grosser Annäherung durch die Formel

$$\frac{a - b \sin^2 \varphi}{\cos \varphi}$$

ausgedrückt werden, in welcher a und b empirisch zu ermittelnde Konstanten bedeuten [45]; die lange Positionsreihe, welche Carrington [50] mittheilt, fügt sich sehr gut diesem Ausdrucke, und die von Zöllner eingehend widerlegten Einwürfe Reye's [51] beziehen sich auch nur auf die physikalische Grundlage, nicht aber auf die rechnerische Brauchbarkeit der angeführten Relation.

Ganz neuerlich hat Spörer [52] der Zöllner'schen Formel die folgende substituirt:

$$8^0{,}548 + 5^0{,}798 \, . \cos \varphi;$$

mit Benützung derselben gestatteten einige günstige, d. h. durch zwei Rotationsperioden hindurch sichtbare, Flecke die Rotationszeit zu 25,234 Tagen zu bestimmen. Der genannte Sonnenforscher ist bei der Herleitung seiner Formel davon ausgegangen, dass auch die aus dem Inneren des Sonnenkörpers kommenden Strömungen zu berücksichtigen seien, welche die geringere lineare Rotationsgeschwindigkeit aus dem Inneren an die Oberfläche mitbringen.

Für die kosmische Physik gewinnen die Sonnenflecke aus dem Grunde eine stets wachsende Bedeutung, weil ihrem Auftreten der Charakter periodischer Wiederkehr anhaftet, der sich dann auch wieder in einer Menge ganz anders gelagerter Verhältnisse abspiegelt. Seit 1847 betreibt R. Wolf [53] das Studium der Periodicitätsfrage, und schon drei Jahre darauf führte er die sogenannten Relativzahlen ein, welche sich bei Untersuchungen dieser Art als ein unentbehrliches Hülfsmittel erwiesen haben. Mit diesen Zahlen hat es folgende Bewandtniss. Bezeichnet man mit g die Anzahl von Fleckengruppen, die an einem bestimmten Tage gesehen worden sind, indem man isolirte Flecke als Gruppen mitzählt, bezeichnet man ferner mit f die Anzahl der in sämmtlichen Gruppen enthaltenen Flecke (diese Zahl ist annähernd dem mit Flecken bedeckten Theile der Sonnenoberfläche proportional) und endlich mit k einen von der Individualität des Beobachters und seines Instrumentes abhängigen Erfahrungsfaktor *), so ist nach Wolf's Definition [54] die Zahl

$$r = k (f + 10 g)$$

---

*) k ward = 1 gesetzt für den Erfinder selbst und für seinen vierfüssigen

die Relativzahl für den betreffenden Tag. Mit Hülfe eines in dieser Weise angesammelten ungeheuren Zahlenmateriales gelang es dem schweizerischen Astronomen, ein Faktum ausser Zweifel zu stellen, welches vor ihm der einzige Horrebow geahnt hatte, als er im Jahre 1776 in sein Beobachtungstagebuch die Worte eintrug [55]: „Es ist zu hoffen, dass man durch eifriges Beobachten auch für die Veränderungen und den Wechsel der Sonnenflecke eine Periode auffinden werde, wie in den Bewegungen der übrigen Himmelskörper: dann erst wird es an der Zeit sein, zu untersuchen, in welcher Weise die Körper, die von der Sonne getrieben und beleuchtet sind, durch die Sonnenflecke beeinflusst werden." Wolf's Resultat lässt sich dahin formuliren [56]: „Die Frequenz der Flecken variirt periodisch seit ihrer im Jahre 1610 erfolgten Entdeckung, und zwar beträgt die mittlere Länge einer einzelnen Periode — nach deren Ablauf also die Relativzahlen ziemlich in der gleichen Aufeinanderfolge wiederkehren — 11¹/₉ Jahre." Lamont und Sabine wurden nahe gleichzeitig zu der Wahrnehmung geführt [57], dass in gewissen Schwankungen des Erdmagnetismus eine synchrone Periode auftrete, wie die von Wolf in der Wiederkehr der Sonnenflecke aufgedeckte; doch trat besonders Sabine erst dann mit seinem Funde hervor, als es Wolf und dem Genfer Gautier [58] bereits geglückt war, den Parallelismus zwischen den Zahlreihen von Lamont und Schwabe (s. o. §. 3) ausser Zweifel zu setzen. Auch zu vielen anderen Phänomenen des physikalischen Lebens auf der Erde hat man die Sonnenfleckenperiode in Beziehung zu setzen gesucht. Wir behalten uns vor, auf diese Beziehungen in jenen Abschnitten unseres Buches zurückzukommen, welche der kosmischen Meteorologie und dem Erdmagnetismus gewidmet sind, und erwähnen einstweilen nur, dass die ganze weitverzweigte Frage den kundigsten Darsteller in Fritz [59] gefunden hat.

§. 7. **Chromosphäre, Protuberanzen und Korona.** Rings um jene äusseren Theile des Sonnenkörpers, welche wir als den Tummelplatz der Sonnenflecke kennen gelernt haben, legt sich eine weitere dünne Hülle, die jedoch sehr hell leuchtet und von Lockyer, der sich um ihre nähere Erforschung besonders bemühte, den Namen der Chromosphäre erhielt [60]. Dieselbe scheint der Hauptsache nach aus Wasserstoffgas zu bestehen und sich in einem Zustande der höchsten Unruhe zu befinden. Ihre Existenz wäre unter gewöhnlichen Umständen verborgen geblieben; erst bei Gelegenheit einiger ausgezeichneter Sonnenfinsternisse hat man sie aufgefunden, und nachgerade haben die Spektroskopiker es möglich gemacht, dieselbe auch ohne jenes selten zur Verfügung stehende Hülfsmittel zu erkennen und zu untersuchen. „Das Bild der Sonne wird", so schildert Lockyer [61] sein Verfahren, „auf ein Diaphragma geworfen, in dessen Mitte sich eine kreisförmige Messingscheibe von der Grösse des Sonnenbildes befindet, welche das Sonnenlicht aufhält, dagegen das Licht der

---

Fraunhofer mit vierundsechzigmaliger Vergrösserung. Durch Vergleichung der Aufzeichnungen während bestimmter Zeiträume erhielt man das anderen Verhältnissen angepasste k.

Chromosphäre ungehindert vorbeigehen lässt. Das Licht der Chromosphäre wird dann an derjenigen Stelle vereinigt, an welcher sich gewöhnlich der Spalt des Spektroskopes befindet, und man sieht dann im Okular die Chromosphäre in Kreisen, welche der Linie C oder anderen Linien des Spektrums entsprechen."

Was uns diese äussere zarte Lichtumhüllung der Sonne besonders interessant macht, das sind in erster Linie die aus ihr hervorbrechenden und mit ihr jedenfalls in engster Verbindung stehenden Protuberanzen, die zuerst im Jahre 1842 von Airy, Baily, Struve und Schidlofsky als zahnartige, rothgefärbte Auswüchse an dem Rande des vom Monde bedeckten Sonnenkörpers wahrgenommen wurden [62]. v. Feilitzsch's [63] Meinung, dass dieses Phänomen erst in unserem Auge, durch Diffraktion der Randstrahlen, entstehe, hat sich nicht viele Anhänger erworben, um so weniger, da Janssen und Zöllner bald auch das Spektroskop so zu adaptiren verstanden, dass man die Protuberanzen nicht blos unter ausserordentlichen Verhältnissen, sondern zu jeder beliebigen Zeit wahrzunehmen in der Lage war. Man hat die Höhe dieser Auswüchse gemessen und gefunden, dass dieselben sich in überraschend kurzer Zeit 6—10 Erdhalbmesser über das Sonnenniveau erheben. Da die charakteristische helle Linie des Protuberanzenspektrums völlig mit jener des Wasserstoffgases sich deckt, so lag die Annahme nahe, dass man es hier mit kolossalen Eruptionen dieses Gases zu thun habe; nach Zöllner's Theorie (s. o.) finden sich Gasmassen allenthalben in der die Sonnenoberfläche konstituirenden Flüssigkeit, theils nur mechanisch von ihr umschlossen, theils vollkommen absorbirt, und durch die Druckdifferenz zwischen dem Druck dieser Massen und demjenigen der äusseren Atmosphäre, welcher durch die Kohärenz und Schwere der oberen Flüssigkeitsmassen noch vergrössert wird, werden jene gewaltsamen Ausbrüche bewirkt. Damit wollen freilich die nicht eben seltenen Fälle nicht stimmen, welche Spörer [64] aus den Denkschriften des Vereines italienischer Spektroskopiker zusammengetragen hat, und bei welchen die Protuberanzen vom Sonnenkörper losgelöst und durch oft beträchtliche Distanzen getrennt erscheinen; auch Spörer und Kempf haben Individuen dieser Art gesehen, die ganz gewiss nicht von der Oberfläche herstammten. Die schon früher von dem verdienten Observator der Potsdamer Sonnenwarte vorgeschlagene Eintheilung der fraglichen Gebilde in gewöhnliche Wasserstoffprotuberanzen und in die durch Intensität und spitze Formen ausgezeichneten flammigen Protuberanzen [65] — Secchi pflegte letztere die metallischen zu nennen — scheint sich zu bewähren, und die letzteren, deren Spektrum durch die Magnesiumlinie charakterisirt erscheint, haben muthmaasslich in chemischen Processen ihren Grund, zu deren Beurtheilung uns noch die erforderlichen Daten fehlen [66].

Schliesslich mögen noch nach Klinkerfues' Beschreibung [67] einige Worte folgen über den Glorienschein, die sogenannte Korona, welcher im Momente der Totalität die Sonnenkugel noch jenseits der Chromosphäre umgiebt. Weisslich-grünen Lichtes, wird sie von Strahlen durchzuckt, die einigermassen an das bekannte Strahlenschiessen des Nordlichtes gemahnen, wie denn auch eine der hellen Linien des Koronenspektrums mit einer der Nordlichtlinien übereinstimmt. Da

im Uebrigen das erstgenannte Spektrum eine Sonderstellung einnimmt und keine Vergleichungen mit den Spektren irdischer Stoffe zu machen gestattet, so muss man vorläufig mit dem freilich nicht ganz befriedigenden Schlusse sich zufrieden geben, dass in den äusseren Hüllen mancher Himmelskörper gewisse Gase und Dämpfe im Zustande hochgradigster Feinheit vorkommen, zu welchen ein Analogon in unseren Laboratorien auszumitteln noch nicht gelungen ist und vielleicht auch niemals gelingt*). Ein solches Gas dürfte wohl das Helium sein.

§. 8. **Allgemeines über die Beschaffenheit und Temperatur des Sonnenkörpers.** Wenn wir uns, nachdem wir vorstehend unser Wissen von der Sonne mit wenigen Strichen zu zeichnen bestrebt waren, nunmehr fragen, in welchem Zustande sich denn eigentlich der riesige Ball befindet, in welchem wir den Regulator alles planetarischen Lebens erkennen, so haben wir auf zwei sich zunächst noch gegenüberstehende Ansichten Rücksicht zu nehmen, zwischen welchen jedoch eine Konkordanz nicht unmöglich erscheint. Nach Zöllner ist, wie wir sahen, ein grosser Theil des Sonnenkörpers, ganz wie es bei dessen Grösse die Nebulartheorie fordert, noch heute im gluthflüssigen Zustande, wenn auch die dem Mittelpunkte näher gelegenen Partieen durch hohen Druck bereits bis zu einem gewissen Grade verfestigt sein können. Dann hat der alte Kant Recht, wenn er [69] behauptet, die Sonne sei ein wirklich flammender Körper und nicht blos eine erhitzte Masse glühender Materie; man darf den von den Physikern des ausgehenden XVIII. und beginnenden XIX. Jahrhunderts für eine Ungeheuerlichkeit**) erklärten Satz aussprechen: Die Sonne brennt [71]. Unter dieser Voraussetzung hat v. d. Gröben's Versuch, die Periodicität der Sonnenflecke zu erklären, Manches für sich [72]. Mit

*) Anhangsweise gedenken wir hier einiger Resultate, welche Secchi für die Frequenz der wichtigeren solaren Phänomene und den gegenwärtigen Zustand der Sonne aus einer längeren Beobachtungsreihe gezogen hat [68]. Auf Grund von 55 Rotationen stellte er Tabellen her, welche die Flecke u. s. w. nach Gruppenzahl und Areal vorführen. Die tägliche Frequenz der Protuberanzen war — wenigstens nach 1875 — im Abnehmen begriffen und näherte sich einem Minimum. Wenn die grossen Flecke aufhören, so hören allmählich auch die Eruptionen auf. Die mittlere Höhe der Protuberanzen, nach der Breite geordnet, blieb sich wesentlich gleich, wogegen die Anzahl der verhaltnissmässig hohen Protuberanzen sich verminderte. Beträchliche Veränderungen traten in der Vertheilung der Fackeln ein; so sind dieselben während des betrachteten Zeitraumes z. B. aus der Nähe der Pole, wo sie früher förmliche Kronen bildeten, ganz verschwunden und haben sich auf das Dominium der Flecke und Protuberanzen beschränkt, bei denen gleichfalls eine Tendenz zur Bewegung nach dem Aequator hin vorwaltete. Secchi schliesst daraus, was ja auch mit den von Wolf ermittelten Thatsachen im Einklange steht, dass die Sonnenthätigkeit jeweils aus einem Maximum einem Minimum und wieder aus einem Minimum einem Maximum zustrebt.

**) Man denke z. B. an das, was im Jahre 1788 der Berliner Professor E. G. Fischer, der Lehrer der Gebrüder Humboldt, an seinen mathematischen Freund J. F. Pfaff in Helmstedt schreibt [70]: „Silberschlag hat kürzlich in der Akademie der Wissenschaften Vorlesungen über die Sonne gehalten. Das Resultat seiner vermeintlich unwidersprechlichen Gründe ist kürzlich dieses: Die Sonne ist ein wirkliches, wahres Küchenfeuer, und die Flecke derselben sind Rauchwolken und grosse Russhaufen.“ Der ganze Brief ist von bitterster Ironie durchzogen.

Zugrundelegung der Zöllner'schen Ansichten wird die von Bunsen gegebene Erklärung der Geysir-Quellen auf die Sonnenoberfläche übertragen. Den intermittirenden Entladungen dieser Heisswasserbrunnen entsprechend müssen auch auf jener Zeiten der Ruhe und der siedenden Aufwallung einander folgen, und zwar findet dieses Sieden in der Tiefe da seine Grenze, wo die Differenzen zwischen der wahren und der Siedetemperatur zu gross zu werden beginnen, als dass der Gleichgewichtszustand durch vorübergehende Druckerleichterungen und Erniedrigungen der Siedewärme noch gestört werden könnte [73]. R. Wolf beurtheilt diesen Erklärungsversuch, der freilich noch einen ausgesprochen hypothetischen Anstrich hat, keineswegs ungünstig [74]. Andererseits hat Duponchel die elfjährige Fleckenperiode durch die Einwirkung des Jupiter auf die Sonne und die Anomalieen durch den störenden Einfluss der oberen Planeten in ihrer Gesammtheit zu erklären gesucht [75], dabei aber, wie ihm Wolf nachweist, das Zahlenmaterial unrichtig verwerthet [76]. Dem gleichen Gewährsmann entnehmen wir die Nachricht, dass Wigard in einer noch ungedruckten Arbeit mit mehr Erfolg eine Art von Ebbe und Fluth auf der Sonne in Folge der wechselseitigen Stellungen von Erde, Venus und Jupiter wahrscheinlich gemacht hat [77], und wirklich coincidiren 13 synodische Umläufe der Venus sehr nahe mit 19 Revolutionen des Jupiter und zugleich mit dem Doppelten der Sonnenfleckenperiode. Loomis und Cornelius [78] hatten schon früher die Frage aufgeworfen, ob nicht vielleicht magnetische Kräfte, von den Planeten auf die Sonne ausgeübt, für die kleinen periodischen Schwankungen der Fleckenkurven verantwortlich zu machen wären. — Welcher Auffassung man aber auch beipflichten mag, stets wird man, wenn man die Sonne als flüssigen und damit durch eine Menge der verschiedensten Agentien beeinflussten Körper betrachtet, die Existenz nicht blos einer einzigen, sondern einer mehrfachen Periode muthmassen müssen. R. Wolf's nach dieser Richtung hin angestellte Untersuchungen haben für's Erste allerdings kein Ergebniss geliefert [79], allein in der Fortsetzung seiner Arbeit scheint auch er die Möglichkeit längerer Perioden — darunter einer solchen von ungefähr 170 Jahren — zugeben zu wollen [80].

In scheinbar striktem Gegensatze zu Zöllner spricht sich A. Ritter, dessen umfängliche Studien über die Aggregatzustände der Himmelskörper wir bereits im vorigen Kapitel (§. 6) zu citiren hatten, dahin aus [81], dass das Innere der Sonne wahrscheinlich aus einem einatomigen Gase bestehe, welches als Dissociationsprodukt der konstituirenden Gase gewissermassen den Urstoff repräsentirt; nur eine verhältnissmässig dünne und als Atmosphäre aufzufassende Oberflächenschicht würde nicht unter diese Bestimmung fallen [82], weil eben die Spektralanalyse in dieser Schicht bereits das Vorhandensein getrennter Materien nachwies. Wer die Betrachtungen nachliest, welche im zweiten Kapitel der dritten Abtheilung über die Beschaffenheit des Erdinneren angestellt werden, findet vielleicht, dass Zöllner's und Ritter's Anschauungen durchaus nicht so unvereinbar sind, wie man auf den ersten Blick glauben könnte.

Ueber die Temperaturverhältnisse auf der Sonne wissen wir im Ganzen wenig. Nach Zöllner [83] herrscht daselbst an der Ober-

fläche eine Hitze von 26000°—29000°, Young enthält sich, eine bestimmte Zahl namhaft zu machen, und hält nur dafür, die Wärme auf der Sonne müsse eine viel intensivere sein, als jene des elektrischen Kohlenlichtes [84]. Secchi schätzt die Temperatur sogar auf mehrere Millionen von Graden [85]. Langley und Spörer fanden mittelst der Thermosäule, dass der Kern eines Fleckes immer noch ²/₃ der Wärme aussendet, wie die helle Umgebung [86]. Die gewöhnlichen aktinometrischen Messungen verdienen, wie Soret [87] hervorhebt, wenig Vertrauen, da die Berechnung der ersteren mit Hülfe der von Dulong und A. T. Petit aufgestellten Formel (T die Temperatur der Wärmequelle, t diejenige der Thermometerkugel des Instrumentes, Θ die konstante Temperatur der Umgebung)

$$1{,}0077^t - 1{,}0077^\Theta = \frac{1{,}0077^T}{188960}$$

erfolgen muss, welche nur in dem Bereiche zwischen 0° und 300° strenge gültig ist. Dass auf der Sonne eine die höchste auf der Erde erzielbare Verbrennungswärme weit übersteigende Temperatur herrschen muss, unterliegt keinem Zweifel; wie viel tausend Grade sie aber höher sein mag, das entzieht sich unserer Entscheidung.

§. 9. **Die Planeten.** Die physische Erdkunde nimmt als solche an den Planeten nur insoweit ein direktes Interesse, als das Studium von deren Oberflächenbeschaffenheit und kosmischem Charakter auch für die bessere Kenntniss des Schwesterplaneten Erde nützlich erscheint. Hierher gehört in erster Linie Mars, in zweiter Venus, und diesen beiden Himmelskörpern ward denn auch in Verbindung mit dem allein hier in Frage kommenden Nebenplaneten, dem Erdmond, ein besonderes Kapitel gewidmet.

Die Anzahl der uns bekannten Planeten ist zur Zeit 238. Die Abstände derselben von der Sonne entsprechen nur sehr nothdürftig dem sogenannten Titius-Bode'schen Gesetze, selbst mit der von Wurm daran angebrachten Verbesserung [88]. Wenn die Entfernung des Merkur vom Sonnenmittelpunkte gleich 4 gesetzt wird, so sollen den Bahnradien von Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn die Zahlwerthe $4 + 2^0 . 3 = 7$; $4 + 2^1 . 3 = 10$; $4 + 2^2 . 3 = 16$; $4 + 2^4 . 3 = 52$; $4 + 2^5 . 3 = 100$ entsprechen — eine Reihe, der freilich nach Gauss' Einwurf das Anfangsglied fehlt, welches nicht 4, sondern $4 + 2^{-1} . 3 = 5{,}5$ sein müsste [89]. Immerhin trifft das Fortschreitungsgesetz auch für Uranus und Neptun so leidlich zu, dass Leverrier seiner Errechnung des unbekannten transuranischen Planeten eine der Wurm'schen Reihe angepasste grosse Halbaxe zu Grunde legen durfte, und auch für die Auffindung der Planetoiden erwies sich diese Reihe sehr nützlich, indem das fehlende Glied $4 + 2^3 . 3 = 28$ eine Lücke in unserem Planetensysteme aufzeigte, deren Vorhandensein höchstens ein Naturphilosoph wie Hegel in einer höchst sonderbaren Schrift leugnen konnte [90]. „Und der Bauherr sollte diesen Raum leer gelassen haben?“ rief Titius [91] aus.

Ob zwischen Merkur und Sonne noch ein Planet die Sonne umkreist, wie Leverrier aus gewissen Störungen der Merkurbahn schliessen zu müssen geglaubt hatte, ist trotz der sorgfältigen Nach-

suchungen Herrick's und trotz der angeblichen Entdeckung Lescarbault's noch immer fraglich, wo nicht unwahrscheinlich; man vergleiche hiezu die sehr umsichtige Zusammenstellung Haase's [92]. Auf Merkur folgt bekanntlich Venus*), dieser schliesst sich die Erde mit ihrem Monde, dieser wiederum der von zwei Satelliten begleitete Mars an. Die (s. o.) von den Teleologen des vorigen Jahrhunderts geahnte Oeffnung zwischen Mars und Jupiter ist nunmehr durch die sogenannten Planetoiden oder kleinen Planeten ausgefüllt, um deren Entdeckung sich nach und nach Piazzi (1800), Olbers, Harding, Hencke, Chacornac, Luther, De Gasparis, H. Goldschmidt, Hind und neuerdings besonders Palisa verdient gemacht haben. Ihre Zahl belief sich im September 1882, nach dem neuesten Funde De Ball's, auf 230, für welche es neuerdings der sonst unerschöpflichen griechisch-römisch-altnordischen Mythologie kaum mehr die nöthigen Namen abzuringen giebt [94]. Die Olbers-Kirkwood'sche Hypothese, dass diese kleinen Körperchen, deren Grösse nicht mehr zu messen, sondern meist nur durch eine beiläufige photometrische Schätzung zu ermitteln ist, durch Zerspringen eines grösseren Planeten entstanden seien, billigen wir nicht, vielmehr scheint uns die Nebulartheorie eine plausiblere Entstehung derselben zu ermöglichen [95], und mit letzterer scheint sich auch besser das von D'Arrest [96] formulirte Gesetz zu vertragen, dass nämlich jede Bahn eines dieser „Taschenplaneten“, wie sich A. v. Humboldt ausdrückte, in jede andere eingreift. Eine neuerdings (s. o.) von der k. dänischen Akademie ausgeschriebene Konkurrenzarbeit verspricht über manche dunkle Punkte, die unsere Kenntniss des Planetoidengürtels entstellen, Licht zu verbreiten**). — Als obere Planeten bezeichnet man Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Den ersteren umgeben vier, den zweiten acht Trabanten [97] nebst einem mehrfach getheilten Ringe, dem Uranus dürfen, im Gegensatze zu älteren Nachrichten, nur vier Monde zugeschrieben werden [98], und Neptun endlich scheint sich mit einem einzigen Begleiter ***) begnügen zu müssen. Der Saturnsring ist allem Vermuthen nach keine konsistente Masse, sondern nur ein Konglomerat von Einzelkörperchen; die Trennungslinien haben sich einer von W. Meyer aufgestellten Hypothese zufolge unter dem attraktiven Einflusse der Saturnsmonde gebildet. Man halte mit dieser Annahme das zusammen, was soeben über den Planetoidenring ausgesagt wurde.

---

*) Der phantasievolle Kepler nahm in seiner Erstlingsschrift keinen Anstand [93], je einen Planeten zwischen Mars und Jupiter und auch zwischen Merkur und Venus einzusetzen, die uns nur ihrer Lichtschwäche halber noch nicht zu Gesichte gekommen wären.

**) „Die Akademie wünscht eine statistische Untersuchung der Bahnen der kleinen Planeten, indem dieselben als Theile eines Ringes um die Sonne betrachtet werden. Gestalt und Lage des Ringes und die relative Massenvertheilung müssen wenigstens soweit bestimmt werden, als es nothwendig ist, um die Störungen zu berechnen, welche dieser Ring auf die Planeten und Kometen ausüben kann.“

***) Newcomb bemerkt hiezu [99]: „Lassell, der mit seinen grossen Reflektoren den Planeten in Malta wie in England häufig beobachtet hat, glaubte anfangs einen Ring oder dem ähnliches Anhängsel wahrzunehmen; indessen haben spätere, unter günstigeren Bedingungen angestellte Beobachtungen nichts Derartiges zu erkennen gegeben.“

Ueber die Planetenspektra hat H. Vogel eine vortreffliche Schrift geschrieben [100], aus welcher die folgenden Angaben entlehnt sind. Die Spektra fast sämmtlicher Planeten enthalten neben den bekannten Linien des Sonnenlichtes auch solche, welche nur bei sehr tiefem Sonnenstande wahrzunehmen und deshalb unserer Atmosphäre zuzuschreiben sind; somit scheinen alle diese Planeten auch eine Atmosphäre zu besitzen. Die Merkuratmosphäre in ihrem gewöhnlichen Zustande ähnelt unserer Lufthülle dann, wenn diese letztere eben die erwähnte absorbirende Wirkung im Maximum zeigt. Auch Venus weist die irdischen Absorptionsstreifen auf, und zwar scheint ihre Lufthülle reich an Wasserdämpfen zu sein und eine starke Reflexionskraft gegenüber den Sonnenstrahlen zu haben. Wenig verschieden verhält sich Mars, dessen rothe Färbung auf eine starke und allgemeine Absorption der blauen und violetten Strahlen zurückgeführt werden dürfte, indem an dem betreffenden Ende des Spektrums keine gesonderten Absorptionsstreifen auftreten. Von den lichtschwächsten Planetoiden ist wenig zu berichten, doch sind bei dem hellsten Mitglied der Gruppe, bei Vesta, Andeutungen einer Atmosphäre vorhanden. Beim Jupitersspektrum treten zu den Sonnenlinien im helleren Ende einige dunkle Streifen hinzu, während Blau und Violett abgeschwächt erscheint, was auf die Anwesenheit von Wasserdämpfen schliessen lässt. Ein eigenthümlicher Streifen im Roth kann von einer dem grossen Planeten eigenthümlichen Substanz, möglicherweise aber auch von besonderen Druck- und Wärmeverhältnissen herrühren; im Uebrigen gilt betreffs der rothen Färbung für Jupiter dasselbe, wie für Mars. Sonderbar ist der Unterschied in den Spektren des Saturn und seines Ringes; ersteres nämlich enthält eine dem Jupiterstreifen analoge atmosphärische Linie, während letzteres derselben ermangelt, was auf eine dichte umhüllende Gasschicht hindeutet. Vom Uranus kennt man zur Zeit mit Gewissheit blos fünf Streifen. Die grössten Unterschiede gegen das solare weist das Neptunspektrum auf, in welchem einige breite Absorptionsbänder auftreten. — Im Wesentlichen deckt sich das Facit der spektralanalytischen Forschung mit den aus der Kant-Laplace'schen Theorie gezogenen Folgerungen. Die oberen Planeten sind im Erkaltungsprocesse noch weniger weit vorgeschritten, als die unteren, ihr Gefüge ist ein lockeres, vielleicht dem tropfbar-flüssigen Aggregatzustande nahekommendes, ausgedehnte Atmosphären umgeben jede Planetenkugel. Namentlich für Saturn und Saturnsring ist eine noch andauernde Gluthflüssigkeit sehr wahrscheinlich geworden, wie denn neueren Beobachtern (Webb, Airy, Coleridge) der Körper des Planeten im stark vergrössernden Fernrohr nicht als Kreis oder Ellipse, sondern als Quadrat mit abgerundeten Ecken sich dargestellt haben soll [101].

Als Vergleichsobjekt für die irdische Meteorologie kann vielleicht das eigenartige Farbenspiel mit der Zeit werthvoll werden, welches die dicke, wolken- und dampfreiche Atmosphäre Jupiters aufweist. „Seit 1878 ist in dessen südlicher Hemisphäre ein grosser, fast ovaler, von hellem Rande umgebener und auffallend stark roth gefärbter Fleck beobachtet worden, der allmählichen Veränderungen unterworfen ist" [102]. Die umfassendste Untersuchung über diese Wolkenbildung hat Wolfer [103] angestellt, er findet, wie R. Wolf mittheilt [104], dass der zur Zeit sehr schwer erkennbare Fleck nicht wirklich im Verschwinden

begriffen, sondern nur — was auch Lohse annimmt — durch darüberlagernde anderweite Luftgebilde unkenntlich gemacht sei.

§. 10. **Die Kometen.** Mit diesem Namen bezeichnen wir die nicht zu den vollbürtigen Bürgern unseres Sonnensystemes gehörigen Wandelsterne, die ihren Namen Schweif- oder Haarsterne meistentheils mit grossem Rechte tragen, wiewohl mancher von ihnen dieses Anhanges gänzlich entbehrt. Man hat lange gebraucht, bis man diese sonderbaren Körper unter dem astronomischen Gesichtspunkte betrachtete, obwohl schon die Chaldäer auf dem richtigeren Wege waren [105], und auch die chinesischen Geschichtschreiber, vorab Ma-twan-lin, die Erscheinungen der Kometen Jahrhunderte hindurch mit solcher Treue registrirten, dass Williams [106] durch Zusammenstellung dieser Notate den rechnenden Astronomen eine werthvolle Hülfe für kometarische Bahnbestimmungen bieten konnte. Den Griechen waren die Kometen gleichgültig, der ptolemaeische Almagest thut ihrer nicht einmal Erwähnung. Dagegen reizten sie den Klassifikationstrieb des älteren Plinius, der aus ihnen nach freilich recht äusserlichen Merkmalen neun Hauptkategorieen zusammenstellte, den eigentlichen Haarstern (κωμήτης, crinita), den Pogonias (Bartstern), Akontias (Wurfspeer), Xiphias (schwertförmigen Stern), den runden Disceus, den fassförmigen Pitheus, das Horn (Ceratias), die Fackel (Lampadias) und den mähnenförmigen Stern; „fit et candidus cometes“, fährt er fort [107], „argenteo crine, ita refulgens, ut vix contueri liceat . . . Fiunt et hirti villorum specie, et nube aliqua circumdati.“ Ungleich höher als sein vielbelesener Zeitgenosse steht der Philosoph Seneca da, der in merkwürdiger Vorahnung die Kometen für Konglomerate unzähliger kleiner Körperchen („stellae erraticae“) erklärt, welche sich in sehr langgestreckten Bahnen bewegten und nur wegen dieser Länge ihrer Umlaufszeit noch nicht als den Planeten gleichwerthig erkannt worden seien [108]. Während des Mittelalters blühte der Kometenaberglaube; dann aber entwarf Regiomontan [109] mit sicherer Hand die Grundlinien eines mathematischen Systemes zur genauen Bestimmung der Kometenörter; Peter Apian verfolgte ausdauernd den Weg dieser Fremdlinge am Himmelsgewölbe, und er, wie schon früher der Italiener Fracastor [110], überzeugte sich auch von dem merkwürdigen Umstande, dass bei jeder Stellung des Gestirnes die Schweifaxe in ihrer Verlängerung über den Kopf des Kometen hinaus durch die Sonne hindurchgehe [111]. Was die Bahn eines solchen Sternes anlangt, so dachte sich Apian dieselbe kreisförmig, Cysatus und Kepler waren für die gerade Linie; Borelli und ein halb mythischer Graf Henry Percy von Northumberland galten als diejenigen, welche zuerst den Kometen in einer Ellipse um die Sonne sich bewegen liessen [112]. Mindestens gleichzeitig mit Borelli erklärte sich der Jesuit P. Petit mit noch grösserer Bestimmtheit für eine Kegelschnittbahn [113]. Des Hevelius Ausspruch, dass durch die jedem geradlinig bewegten Himmelskörper innewohnende Neigung nach der Sonne hin der Schweifstern in eine parabolische Bahn hineingerathe, war ein gelegentliches Aperçu ohne eigentliche Begründung [114]; erst Dörffel kam, wie unlängst sein Biograph Reinhardt [115] im Detail nachwies, durch so folgerichtige und mit den Beobachtungen harmonirende Schlüsse zu einem analogen

Resultate, dass man in ihm den eigentlichen Entdecker des astronomischen Fundamentalsatzes zu verehren hat, die Sonne stehe im Brennpunkt der parabolischen Kometenbahn. Newton gab hierauf [116] die von Olbers [117] ungemein vervollkommneten Vorschriften, aus drei geocentrischen Beobachtungen eine solche Bahn wirklich zu berechnen, und Halley machte davon die berühmte Anwendung auf den nach ihm benannten Kometen, bei dessen von Lalande, Clairaut und Madame Lepaute genau vorausbestimmter Wiederkehr im Jahre 1756 die Theorie ihre höchsten Triumphe feierte [118]. Seitdem hat man noch eine grössere Anzahl von Kometen kürzerer Umlaufszeit gefunden, unter welchen die nach ihren Entdeckern resp. Berechnern genannten Kometen von Brorsen, v. Biela, Faye und Encke die bekanntesten sind. Im Allgemeinen aber ist für einen neu aufgefundenen Stern dieser Art die hyperbolische Bahn als die wahrscheinlichste anzunehmen, wennschon bequemeren Kalkuls halber meistentheils von der Parabel als einer ersten Näherung Gebrauch gemacht wird. Einen sehr vollständigen „Abriss einer Geschichte der Kometenerscheinungen“ hat Mädler [119] seiner populären Astronomie einverleibt.

Die physische Beschaffenheit und die Art des Lichtes eines Kometen blieben so lange Gegenstand einer blos hypothetischen Erörterung, als man lediglich durch das Fernrohr zu diesen räthselhaften Weltkörpern in Beziehung zu treten vermochte. Arago bediente sich zuerst des Polariskopes, und durch dasselbe ward konstatirt [120], dass der Komet zweierlei Licht aussendet, nämlich solches, das ihm eigen und solches, das solaren Ursprunges, von ihm aber reflektirt ist. Das Spektrum ist aus wenigen verwaschenen hellen Banden zusammengesetzt und gestattet den allerdings nicht über jeden Zweifel erhabenen Schluss, dass die glühenden Gase einiger Kohlenstoffverbindungen den Hauptbestandtheil der Kometenmaterie ausmachen: nach Newcomb's Ansicht dürfte eine zunächst nicht näher zu eruirende Verbindung fester und gasförmiger Stoffe vorherrschen. Dass das Gefüge dieser Wandelgestirne ein sehr wenig kompaktes ist, erhellt u. a. aus der wohlbekannten Thatsache, dass der Biela'sche Komet, einer von den periodisch wiederkehrenden, im Januar 1846 sich in zwei getrennte Kometen von ziemlich identischem Aussehen zertheilte, die das nächstemal auch wirklich als Doppelkomet wieder erschienen. Die Sonne übt natürlich auf diese kosmischen Gewölke die mächtigsten Wirkungen aller Art aus, wie denn die Spektra bei verschiedenen Abständen des Kernes vom Centralkörper auch verschieden ausfallen. Im Kometen vollzieht sich, wie H. Vogel bemerkt hat [121], ein ganz ähnlicher Vorgang, wie bei den stark verdünnten Gasen der Geissler'schen Röhren, „wo bei gesteigerter elektrischer Intensität in dem Momente, wo die Spektra von Metalldämpfen erscheinen, die Spektra aller sonst vorhandenen Gase stark zurücktreten und in dem Maasse abnehmen, als die Intensität der Metallspektra zunimmt“. Auf die ungemein grosse Dünnheit der im Kerne — und also noch weit mehr im Schweife — vertheilten Materie lässt auch W. Meyer's aus Beobachtungen und theoretischen Erwägungen gleichzeitig gezogene Angabe [122] schliessen, dass die Substanz, aus welcher der Kopf des Kometen III. von 1881 bestand, sich optisch wie ein Gas verhielt, dessen brechende Kraft in einer Entfernung von 10200 km vom Kerne gleich 0,0000093 wäre.

Wir gehen sonach wohl nicht fehl, wenn wir, auch ohne zunächst von den eigentlichen Kometentheorieen Akt zu nehmen, einstweilen Folgendes feststellen: Die Schweifsterne sind lockere, grossentheils gasförmige, kosmische Wolken, die an sich frei durch den Weltraum streifen und durch die übermächtige Anziehung eines Fixsternes, z. B. der Sonne, sei es vorübergehend, sei es dauernd, zum Verbleiben in dem Trabantensystem dieses Centralkörpers genöthigt werden. Ein Zusammenstoss des Kometenkernes mit unserer Erde ist, wie eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung lehrt, vernünftigerweise nicht zu befürchten, würde aber gegebenen Falles auch kaum zu solchen Katastrophen führen können, wie sie Buffon (Kap. I, §. 1) uns ausmalen möchte. Vielleicht würde (s. §. 13) ein recht ergiebiger Sternschnuppenfall die einzige Folge eines solchen Ereignisses sein, und Pogson ist sogar der Meinung, dass der am 27. November 1872 zu Madras beobachtete Sternschnuppenregen auf den Durchgang unseres Planeten durch den Schweif des Kometen von Biela zurückgeführt werden müsse [123]. Schon Kant [124] stellte jede Gefahr in Abrede.

§. 11. **Aeltere und neuere Kometentheorieen.** In diesem Paragraphen soll eine gedrängte Uebersicht über eine Anzahl von Kometentheorieen gegeben werden. Dieselben haben theils nur unter dem geschichtlichen Gesichtspunkte und um deswillen Interesse, weil sie für die Gesammtanschauung ihrer Zeit charakteristisch sind, zum Theile auch bilden sie noch heute den Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion.

a) **Peter Apian.** Die Lehre dieses verdienten Kometenforschers ist vielfach, auch von Mädler [125], falsch verstanden worden. Der Erstere nimmt, getreu den Traditionen der aristotelischen Schulphysik an, dass irdische Dünste in die Elementarregion des Feuers emporsteigen, sich allda unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen entzünden und nun zu einem Feuermeteore zusammenballen [126]. Die Mondbahn reisst dieses in ihrem Umschwung mit sich fort. Aehnliche Theorieen beherrschten noch das ganze XVI. Jahrhundert, und erst dann begann man sich von diesen loszusagen, als man erkannt hatte, dass ein Komet keine erkennbare Parallaxe besitze. Diesen Punkt besonders scharf betont zu haben, ist ein Verdienst von Peter Apian's Sohn Philipp [127].

b) **Kepler.** Seinen freien Blick bethätigte der grosse deutsche Astronom besonders auch in seiner Auffassung der Kometen. Dess zum Zeugniss seien einige Sätze aus seinem deutsch geschriebenen Traktate über diese Himmelskörper*) [128] hier wörtlich wiedergegeben: „Von den Cometen ist diss mein einfältige Meynung, dass, wie es natürlich, dass aus jeder Erden ein Kraut wachse, auch ohne Saamen, und in jedem Wasser, sonderlich im weiten Meer, Fische wachsen und darinnen umbschweben, allermaassen sey es auch mit der himmlischen, überall durchgängigen und ledigen Lufft beschaffen, dass nemlich dieselbige diese Art habe, aus ihr selber die Cometen zu gebären." **)...

---

*) Ursprünglich deutsch geschrieben, nachher erst in's Lateinische übertragen.

**) Man bemerke die mancherlei Anklänge, die sich bei Kepler betreffs der Generatio aequivoca finden.

„Wann die Lufft etwa an einem Ort dick wird, also dass die Sonne und die Sterne ihre Straalen nicht wohl hindurch schiessen und auff Erden leuchten können, alsdann ist es Zeit, und bringt es dieser himmlischen Lufft lebhafte Natur mit sich, dass solche dicke, feiste Materi gleichsam als in ein Apostem zusammengezogen und ihrer Natur nach erleuchtet und wie andere Sterne mit einer Bewegung begabt werde“... „Wann nun also ein durchsichtige, liechte Kugel oder Klumpff im Himmel schwebt, und die Sonne mit ihren rechtlinigen Straalen darauf trifft, denselben auch durchgehet, so haltt ich, dass solche Straalen etwas von der Materi der Cometenkugel mit sich davon führen und also den Cometen bleichen, waschen, saigern, durchtreiben und endlich gar vertilgen, inmaassen bei uns hier auf Erden die Sonne alle Farben aus leinen Tüchern vertilget, verzehret und vertreibet und sie also schneeweiss machet.“ Man braucht gerade nicht jedes Wort der Apotheose zu unterschreiben, welche Zöllner anlässlich dieser Sätze an die Manen Kepler's richtet [129], um solche Anschauungen gleichwohl für höchst merkwürdig und über ihre Zeit sich erhebend zu erklären. Von Kepler's unmittelbaren Zeitgenossen hat wohl nur der freisinnige Peiresc [130] die Richtigkeit derartig kühner Thesen zuzugeben gewagt.

c) **Hevel.** Die Kometen gehen aus den Atmosphären der Planeten hervor, welche nur die gröberen Ausdünstungen dieser Himmelskörper zurückbehalten, die feineren aber aufsteigen lassen. Ballen sich dieselben auch noch innerhalb der Atmosphäre zusammen, so verlassen sie dieselbe doch und bewegen sich nach der Sonne hin, weil der dichte Körper angeblich mehr Neigung zur Bewegung habe, als der minder dichte — offenbar eine missverstandene aristotelische Reminiscenz. Indem der so in der Entstehung begriffene Komet die Sphären anderer Planeten durchschneidet, zieht er mehr und mehr Ausdünstungsstoffe an sich; liegen mehrere Planeten in ein und derselben Geraden, so ist die Kometenbildung erleichtert, wie verschiedene Conjunktionen gezeigt haben [131].

d) **Jakob Bernoulli.** Eine nicht uninteressante Theorie, besonders deshalb, weil sie den ernstgemeinten Versuch darstellt, den Aberglauben der Zeit mit der eigenen besseren Ueberzeugung durch ein Kompromiss zu versöhnen. Kern und Schweif sind strenge von einander zu scheiden; der erstere ist ein Himmelskörper wie jeder andere und zwar Trabant eines weit entfernten transsaturnischen Planeten, der Schweif dagegen ist etwas der natürlichen Erkenntniss entzogenes, an welchem sich astrologische Deutungskunst beliebig versuchen kann. Mit Wolf [132] halten wir dafür, dass die betreffende Schrift Bernoulli's [133] einen Fortschritt signalisirte — freilich nicht gegenüber den Ideen Kepler's, wohl aber gegenüber denen von hundert anderen Fachmännern.

e) **Newton.** Die Kometen sind feste und dauerhafte Körper, denn wären sie diess nicht, so müssten sie beim Durchgang durch das Perihel — Newton dachte besonders an den der Sonne ungeheuer nahe gekommenen Schweifstern von 1680 — sich verflüchtigen und könnten nicht aus den Sonnenstrahlen wieder zum Vorschein kommen [134]. Die Materie der Schweife dagegen ist dünn und fein und entfernt sich deshalb von der Sonne, weil sie noch zarter ist, als jene Materie, mit welcher der Weltraum in der Umgebung des Kometen

erfüllt ist. So entfernt sich trotz der von der Erde ausgeübten Anziehungskraft der Rauch von dieser. Indess wird Kepler's Ansicht, nach welcher die Sonne durch ihre Strahlen läuternd auf die Kometenstoffe wirkt, ausdrücklich als „nicht absurd" bezeichnet [135]. In seiner ausführlichen Kritik aller bestehenden Kometentheorieen [136] hat Flaugergues auch speziell die Newton'sche als mit den Grundsätzen der Physik in Widerspruch stehend zu erweisen versucht, indess ist sein Nachweis keineswegs tadelfrei.

f) **Piazzi.** Diesem Astronomen zufolge [137] sind im Weltraum allüberall kleine materielle Punkte verstreut. Ein irgendwie entstandenes Konglomerat aus diesen wirkt attraktiv auf die in der Nachbarschaft schwebenden Partikeln, und es entsteht nach und nach eine Masse, dicht genug, um zugesandtes Licht nicht blos diffus zurückwerfen und zugleich eigenes Licht in zur Sichtbarkeit hinreichender Menge abgeben zu können.

g) **Herschel-Laplace.** Eine von William Herschel [138] aufgestellte und von Laplace [139] gebilligte Hypothese gipfelt darin, dass die Kometenmaterie nichts anderes sei, als diejenige kosmische Urmaterie, aus welcher heute noch die teleskopisch unzerlegbaren Nebelflecke bestehen, und aus welcher nach der Nebulartheorie auch alle Körper unseres Sonnensystemes hervorgegangen sind. Eine isolirte Masse dieser Art wird von der Sonnengravitation zum Beschreiben eines Kegelschnittes um den Centralkörper gezwungen; ursprünglich sphärisch geballt, verlängert sich der wandernde Nebelfleck unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen immer mehr in der der Sonne abgewandten Richtung, ein Theil der Masse verliert sich in den Weltraum und diese — der Verdunstung terrestrischer Flüssigkeiten vergleichbare — Verflüchtigung bringt es mit sich, dass ein Komet ein um so festeres Gefüge erlangt, je häufiger er bereits in seine Sonnennähe kam. Die Aehnlichkeit mit Newton's Hypothese ist unverkennbar.

h) **J. W. H. Lehmann.** Dieser berühmte astronomische Rechner ist der Begründer [140] der kometarischen Ebbe- und Fluth-Theorie. Die schweiflosen Kometen sollen den Planeten ähnlich sein und eine analog kurze Rotationsdauer besitzen, während die gewöhnlichen Schweifsterne stets die nämliche Seite, wie der Mond der Erde, der Sonne zuwenden. Die den Kometen umgebende Materie ist mit einer gewissen Expansivkraft ausgestattet, und da an der der Sonne abgekehrten Seite des Kernes die Anziehungskraft geringer ist, so entsteht dort ein Uebermaass von Expansivkraft, und die Theilchen fluthen nach dem am weitesten von der Sonne entfernten Punkte hin, der also als Ausgangspunkt der Schweifbildung erscheint. Freilich bildet sich auf unserer Erde gleichzeitig auch die Nadirfluth, von welcher auf dem Kometen nach Lehmann nichts zu verspüren sein würde.

i) **Tyndall.** Schon vor langer Zeit war der Gedanke gelegentlich aufgetaucht, dass ein Kometenschweif lediglich ein subjektiv-optisches Phänomen sei, in Wirklichkeit aber gar nicht existire; Cardanus erdachte ein Experiment zur Veranschaulichung des Vorganges, wie er ihn sich dachte, und De Laune suchte weitere Beweise in diesem Sinne beizubringen [141]. Auf ähnlicher Basis erwuchs die freilich von den allermodernsten Theorieen der Experimentalphysik Gebrauch machende Kometenlehre von Tyndall [142]. Die Sonnenstrahlen

wirken chemisch zersetzend auf den ruhenden Aether, der wesentlich durch sehr fein vertheilte Kohlenwasserstoffdämpfe gebildet wird, und es treten dadurch Erscheinungen ein, wie sie Tyndall vorher in seinem Kabinet zur Darstellung gebracht hatte. Wurde nämlich ein Glasrohr mit Amylnitrit oder Allyljodid angefüllt und alsdann durch elektrisches Licht beleuchtet, so verdichteten sich die Dämpfe sofort und bildeten eine aktinische Wolke, indem zumal die Sonne ausser ihrer Licht- und Wärmeaktion auch noch eine spezifisch aktinische Wirkung ausübt. Mit solchen Wolken werden Kopf und Schweif des Kometen identificirt. Es hält schwer, sich den Weltraum von so selten vorkommenden Verbindungen angefüllt zu denken, wie es nach der Tyndall'schen Hypothese erforderlich ist, auch ist durchaus nicht ersichtlich, durch welches Hinderniss der Kern des Kometen die kalorischen Strahlen der Sonne soweit abzuhalten vermag, um den aktinischen einen freien Platz für ihre Thätigkeit zu verschaffen. Nach der vernichtenden Kritik, die Zöllner [143] an dieser Hypothese geübt hat, ist an ein Verbleiben derselben auf der wissenschaftlichen Tagesordnung nicht zu denken, und wir möchten sie auch nicht mit Leipoldt [144] als eine „der beiden wichtigsten der bisher aufgestellten Kometentheorieen“ bezeichnen. Ungleich beachtenswerther dünken uns besonders jene zu sein, von denen weiterhin in diesem Paragraphen die Rede sein wird.

k) **Schwedoff — v. Dellingshausen.** Der genannte russische Mathematiker betritt einen neuen Weg in einer kleinen Schrift [145], von welcher wir hier allerdings nur durch die paraphrasirende Bearbeitung v. Dellingshausen's [146] unterrichtet sind. Nach letzterem lautet Schwedoff's Hauptsatz folgendermassen: „Die Kometenschweife sind Verdichtungswellen, welche durch die Bewegung des Kometenkernes in einem Widerstand leistenden Mittel angeregt und, von der Sonne oder von dem Kerne aus beleuchtet, für uns sichtbar werden. Nur der Kern ist also ein Körper im strengen Wortsinne; hierin ähnelt die vorgetragene Theorie der Tyndall'schen. Schwedoff hat seiner ersten Abhandlung eine weitere mit mathematischem Kommentar folgen lassen [147], indess findet v. Dellingshausen, die hierin enthaltene Definition des intraplanetaren Mediums verderbe wieder die vorher erzielten Erfolge [148]. Er selbst identificirt, um konsequenter zu sein, die Kometen mit den Wirbelatomen der englischen Naturphilosophen: „die Kometenschweife sind nur die Spur, welche die Wirbel hinter sich lassen, Wellenbewegungen des intraplanetaren Mittels, das theils noch selbstleuchtend, theils von der Sonne beschienen, für uns als heller Nebel sichtbar wird“ [149]. Eignet aber, diese Frage liesse sich wohl aufwerfen, diesen kosmischen „vortex atoms“ auch die an letzteren von Helmholtz nachgewiesene Eigenschaft der Unzerstörbarkeit?

l) **Zenker.** Die Substanz des Kometenkernes ist in der Hauptsache eine solche, dass sie durch Wärme verflüchtigt, durch Kälte wieder kondensirt werden kann [150]. Die Sonnenstrahlen lösen einen Theil der Substanz in Dämpfe auf, und der Rückstoss dieses sich entwickelnden und fortgeschleuderten Dampfes tritt als treibende Kraft auf. Die kleinen den Kometenkern begleitenden Massen, aus welchen auf der der Sonne zugekehrten Seite fortwährend Dämpfe entströmen, werden durch die Reaktion der Stosskraft wie Raketen, deren Aus-

strömungsöffnung der Sonne zugewandt wäre, von dieser fortgeschleudert. Diese Bewegung ist eine beschleunigte, und zwar muss die Beschleunigung zunehmen, so lange die einseitige Verdampfung stattfindet [151]. Zenker denkt sich jene Massen speziell als aus gefrorenem Wasserdampf entstanden und nimmt somit an, dass die einseitige Erwärmung dieser Eisbälle eine repulsive Kraft in's Leben rufen müsse; durch Rechnung sucht er darzuthun, dass für die Bälle die Wahrscheinlichkeit, grosse Geschwindigkeiten und damit auch grosse Entfernungen zu erreichen, mit ihrer Zahl und Dichtigkeit wachse [152].

m) **v. Miller-Hauenfels.** Mit der Schwedoff'schen und der Zenker'schen Hypothese hat die jetzt zu besprechende das gemein, dass ihr Urheber seine Imagination durch eingehende analytische Diskussion der angeregten Fragen vor Irrthümern zu bewahren suchte. Im Wesentlichen stützt sich derselbe auf die bereits von Rankine (s. o. Kap. I. § 8) angenommene ideelle Grenzfläche des Weltraumes, an welcher eine Art von Gegendruck stattfinde, der zwar weit unter die Markirungsgrenze auch der allerempfindlichsten Manometer fiele, gleichwohl aber [153] „seine Aufgabe erfüllen und die Anhäufung atmosphärischer Hüllen um die solideren Weltkörper, sowie die Ansammlung selbstständiger Gasmassen im freien Weltraume möglich machen werde.“ Durch Betrachtung der Druck- und Temperaturverhältnisse isolirt im Raume schwebender Gasmassen von kugelförmiger und sphäroidischer Gestalt werden dann auch die kometarischen Formen als solche erkannt, wie sie unter dem Gesammteinflusse der Attraktion, der Centrifugalkraft, des Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetzes und endlich jenes hypothetischen Bahndruckes aus einer solchen kosmischen Gasmasse sich ergeben müssen. Durch Studium der Niveaulinien geschweifter Kometen, welche mit den Isophoten oder Ortskurven gleicher Lichtstärke einerlei sein sollen [154], glaubt v. Miller-Hauenfels auch die eigenthümlichen Wirbelbewegungen im Inneren der Kometenschweife der Erklärung zugänglich machen zu können [155]. Man wird seinem Systeme logische Anordnung der einzelnen Bestandtheile und konsequenten Aufbau nicht abstreiten können und nur bedauern, dass dasselbe auf einer so wenig sicheren Prämisse, wie dem Gegendruck des Weltäthers, aufgebaut worden ist.

§ 12. **Hypothesen, welche eine polare Kraft zu Hülfe nehmen.** Im Jahre 1744 erschien ein Komet von grossem Glanze, an dessen Kopfe eigenthümliche, fächerartige Ausströmungen bemerklich waren. Der Petersburger Akademiker Heinsius hat uns in einer besonderen, mit sehr schönen Darstellungen versehenen Schrift [156] eine genaue Beschreibung dieses Phänomenes geliefert. Neuerdings hat man Aehnliches öfter am Kerne und an der Koma — dem Scheitel der lichterfüllten Parabel, als welche der Komet sich mehrentheils darstellt — beobachtet; von dem Halley'schen Kometen (1835) haben Bessel, von dem Donati'schen Kometen (1858) Bond und J. Schmidt Zeichnungen in dem fraglichen Stadium entworfen, von welchen man sämmtlich bei J. Müller [157] eine treffliche Reproduktion findet. Auch der Komet von 1881 gehört in diese Kategorie, und der dritten Auflage des Zöllner'schen Kometenwerkes sind zwei Stiche Weinek's beigegeben, welche die charakteristischen Umbiegungen der vom Kerne

ausgehenden Strahlen sehr gut zum Ausdrucke bringen; bei diesem Kometen ist auch erstmalig eine photographische Aufnahme des Schweifes (durch Janssen) geglückt, so dass wir künftig auch von dieser Seite her neuen Aufschlüssen über die Strömungserscheinungen entgegensehen dürfen [158].

Theoretische Betrachtungen knüpften an diese Erscheinungen zuerst Olbers [159] und Bessel [160] an. Der letztere kommt auf Grund sorgfältigsten Beobachtungsmateriales zu dem Schlusse, dass eine Polarkraft nicht allein in den Kometen von 1744, 1811 und 1835 gewirkt habe, sondern dass dieselbe auch eine allgemeinere, wo nicht die allgemeine Eigenschaft sämmtlicher Kometen sei. „Die Planeten und die Kometen scheinen dadurch verschieden zu sein, dass in jenen die Schwerkraft, in diesen Polarkräfte die vorherrschenden sind.“ Welcher Art diese Anziehungs- und Abstossungskräfte sein möchten, liess Bessel in seiner bekannten vorsichtigen Art unentschieden, und an diesem Punkte war es eben, wo Zöllner einsetzte und in seinem bekannten Buche, dessen wir nun schon oftmals Erwähnung zu thun hatten, eine bestimmte Behauptung jenen früheren Andeutungen gegenüberstellte. Bezüglich der Annahme, dass die Kometen in erster Linie kosmische Gasmassen sind, die an sich mit der sehr niedrigen Temperatur des Weltraumes (vgl. §. 14) im Wärmegleichgewicht stehen, befindet sich Zöllner mit manchen unter den früheren Kometentheoretikern (s. o. §. 11) im Einklange, und auch darin befindet er sich auf gleicher Linie mit älteren Anschauungen, dass er einen solchen unregelmässig begrenzten Gasball, wenn derselbe in die Nähe eines Fixsternes — z. B. der Sonne — gelangt, einem Siede- und Verdampfungsprocess unterliegen lässt. Wie aber werden diese Dämpfe selbstleuchtend? Ueber diesen Punkt, auf welchen doch nach den Beobachtungen Arago's mit dem Polariskop (s. o. §. 10) ungemein viel ankommt, sind sich frühere Forscher offenbar nicht genügend klar gewesen, und Zöllner hat deshalb, indem er an bekannte Sätze der Elektricitätslehre appellirte, eine entschieden vorhandene Lücke ausgefüllt. Versuche von Faraday, Riess, Abendroth u. a., die z. B. an Wasserfällen und Springbrunnen angestellt wurden, lehren uns, dass mit jeder Zerreissung von Flüssigkeitsmassen durch mechanische Gewalt, mit jeder Zerstäubung und Dampfbildung das Auftreten aktiver (Reibungs-) Elektricität verbunden ist. Denken wir uns, durch ähnliche Vorgänge im Grossen bilde sich am Kern des Kometen ein Heerd irgendwie bezeichneter — sagen wir negativer — Elektricität, so wird dieselbe von der durch die Sonne gelieferten gleichnamigen also ebenfalls negativen Elektricität abgestossen werden. Dass aber eine solche durch die mannigfachen Umbildungen an der Oberfläche des Sonnenkörpers in reichem Maasse geliefert werde, ist mindestens als höchst wahrscheinlich zu bezeichnen. Dieser Akt der polaren Abstossung erklärt somit Dreierlei gleichzeitig: das Leuchten der ausströmenden Theile, welches mit anderen bekannten elektrischen Glüherscheinungen ziemlich auf gleicher Stufe stehen würde, die Schweifentwickelung selbst, und endlich auch den Erfahrungssatz des alten Apian, dass der Schweif stets — oder besser gesagt, fast stets — eine von der Sonne abgewandte Richtung besitzt. Eine Reihe von Zenker gegen diese Theorie erhobener Einwendungen, worunter uns der schwerst-

wiegende der zu sein scheint, dass die auf der Sonne vorhandenen Mengen der beiden ungleichnamigen Elektricitäten einander gleich sein müssen [161], hat Zöllner in einer umfänglichen Abhandlung [162] widerlegt, indem er sich betreffs der von ihm stipulirten elektrischen Fernewirkung des Centralkörpers auf mehrere seinen Ansichten günstige Forschungsresultate von Becquerel, G. Wiedemann und Hornstein [163] beruft. Eine nicht zu verachtende Stütze ist der elektrischen Kometentheorie später von Seiten des Engländers Crookes, des Erfinders des Radiometers, zu Theil geworden, der die Wahrnehmung machte, dass die wesentlichen chemischen Charaktere der Moleküle auch bei den höchsten Verdünnungsgraden erhalten bleiben; diess hatte Zöllner schon früher behauptet und im Anschluss daran die Anwesenheit von Wasserstoff und Kohlenstoff im Kometenschweife für höchst wahrscheinlich erklärt. Beide Elemente sind von Huggins auch wirklich mit Hülfe des Spektroskopes herausgefunden worden [164]. Endlich hat Bredichin die Zöllner'schen Voraussetzungen und insbesondere den Satz, dass die Repulsivkräfte der Sonne den spezifischen Gewichten der Schweiftheilchen umgekehrt proportional seien, durch mühevolle Rechnung auf Grund Bessel'scher Formeln bei einer Reihe von Kometentypen bestätigt gefunden [165]. Für diese Hypothese spricht auch noch der Umstand, dass sie zu den sofort zu erörternden verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den Kometen und einer anderen Klasse von Himmelskörpern in keinerlei Widerspruch steht. Bredichin berechnet für den zweiten Kometen des Jahres 1882 eine etwa dreimal so rasche Bewegung der Schweiftheile als des Kernes und knüpft an dieses Ergebniss die Bemerkung [166]: „Voilà l'une des plusieurs raisons par lesquelles l'étude sérieuse des comètes a dû conduire à l'admission de la force centrale repulsive (réelle ou apparente), dont la cause physique nous reste inconnue comme celle de l'attraction Newtonienne.“ Nach Bredichin ist in vielen Fällen, abgesehen von dem durch Helligkeit und Schärfe ausgezeichneten Hauptschweif, der aus Kohlenwasserstofftheilchen besteht, ein innerer Schweif aus festerem Materiale zu unterscheiden; der sich der Sonne zuwendende Theil werde von Molekülen gebildet, welche selbst nur von den entfernteren und schneller bewegten mit fortgerissen würden, selbst jedoch keiner erkennbaren Abstossungskraft unterworfen zu sein schienen.

§. 13. **Die Meteorite.** Dass Steine und metallische Körper vom Himmel auf die Erde fallen, war längst bekannt, ehe ein grosser Theil der Gelehrten die Thatsache zugestehen wollte. Im Jahre 467 v. Chr. schon konnte der Philosoph Anaxagoras ein solches Ereigniss bei Aigospotamoi am Hellespont konstatiren und (nach Plutarch) mit der Schnelligkeit des Himmelsumschwunges in Verbindung bringen. Sowohl das Alterthum, wie auch das Mittelalter erblickte in solchen Katastrophen ominöse Winke des Himmels und nahm daraus Anlass zu einer Art von Meteorkultus*), an den noch heute das musleminische

*) Dieses Wort rührt her von dem Freiherrn v. Dalberg, dem Bruder des bekannten Fürsten Primas; der Erstere hat darüber eine eigene Monographie [167] geschrieben. Auch der scythische Mythus „vom heiligen Golde“ soll nach A. v. Humboldt's Meinung auf meteorische Metallmassen hindeuten.

Religionsheiligthum, der schwarze Stein in der Kaaba zu Mekka, gemahnt. Im Jahre 823 sollen in Sachsen laut Klosterchroniken einige Dörfer durch fallende Steine angezündet worden sein [168], und aus dem Jahre 1366 (21. Oktober) wird uns von zwei ihrer gegenseitigen Unabhängigkeit wegen gewiss ganz vertrauenswürdigen Quellen, einer böhmischen und einer portugiesischen, ein ungeheurer Sternschnuppenregen gemeldet [169]. Der 4. September 1511 brachte den furchtbaren Steinfall bei Crema in Oberitalien, den Petrus Martyr und Cardanus beschreiben, der die Luft verfinstert und selbst grössere Thiere erschlagen habe [170]; ja sogar einem Mönch soll derselbe den Tod gebracht haben. Wir unterlassen es, weitere Fakta dieser Art aus älterer Zeit anzuführen, verweisen vielmehr auf H. J. Klein's sorgfältige Zusammenstellung aller darauf Bezug habenden Notizen [171] und wenden uns gleich der Neuzeit zu. Gestützt auf diese doch nicht ganz in das Reich der Fabeln zu verweisenden Angaben der Historiker und auf den weiteren Umstand, dass der Naturforscher Pallas eine Eisenmasse von sichtlich aussertellurischem Ursprunge aus Sibirien mit heimgebracht hatte, wagte es der Physiker Chladni [172], das Niederfallen von Meteorsteinen für eine wissenschaftlich unantastbare Wahrheit zu erklären und zugleich diese Gebilde mit den Sternschnuppen und Feuerkugeln ursächlich zu verknüpfen. Sein Wagniss wäre wohl kaum so gut gelungen, wenn nicht einige Zeit darauf der Meteorfall von Aigle, den eine Sachverständigenkommission unter J. Biot's Leitung genau untersuchte, um mit Humboldt [173] zu reden, der „endemischen Zweifelsucht der Akademieen ein Ziel setzte". Seit dieser Zeit haben die Meteorite erst ihr volles Bürgerrecht in der Wissenschaft erlangt, und man hat sich mehr und mehr daran gewöhnt, die Meteorsteine im engeren Sinne, die Sternschnuppen und Feuerkugeln im Geiste Chladni's unter obigem Gesammtnamen zusammenzufassen. Man versteht darunter nämlich kleine im Weltraume frei sich bewegende Körper, welche beim Durchdringen der irdischen Lufthülle leuchtend werden und uns als schnell dahinschiessende Sternschnuppen, oder bei besonders hellem Glanze als Feuerkugeln erscheinen, schliesslich aber als Meteorsteine zur Erde fallen. Nur ganz ausnahmsweise ist gegen diese jetzt allenthalben maassgebende Auffassung Widerspruch erhoben worden, wovon später die Rede sein wird.

Chemisch untersucht, zeigen sich diese aus dem Weltraume zu uns gelangten Körperchen als im Wesentlichen aus den nämlichen Elementarstoffen zusammengesetzt, welche uns aus unserer Umgebung bereits bekannt sind. Nach G. Rose, dem man eine Reihe hochwichtiger Arbeiten über die Zusammensetzung und den mineralogischen Charakter der Meteormassen verdankt, kommen die nachstehend genannten Mineralien so ziemlich in allen Individuen vor: Gediegenes, meteorisches Eisen mit Nickelgehalt, Tänit, Schreibersit (eine Verbindung von Phosphor, Nickel und Eisen), Rhabdit, Graphit, Troilit oder Einfachschwefeleisen, Magnetkies, Chromeisenerz, Quarz, Olivin, Shepardit, Augit und Anorthit*). Auf Grund dieses Befundes hat G. Rose eine Klassifikation der Meteorite zu liefern gesucht [174],

*) Neuerdings sind als bisher unbekannte Körper der Celestialit und der Daubréelit dargestellt worden.

welche jedoch nicht allen Anforderungen genügt und vielleicht besser durch diejenige des verdienten Experimentalgeologen Daubrée ersetzt würde [175]. Dem ersteren Eintheilungsprincipe zufolge zerfallen die Meteorkörper in Eisenmeteorite und Steinmeteorite, deren Spezialcharakter durch das Wort schon gekennzeichnet erscheint; zur ersteren Klasse gehören 3, zur letzteren 7 Unterabtheilungen, indessen ist die Scheidung keine ganz scharfe, sondern der Mesosiderit, ein körniges Gemenge von Meteoreisen und Magnetkies mit Olivin und Augit, repräsentirt eine Uebergangsform. Ein trennendes Kriterium würden übrigens auch, wenn Wright Recht behält [176], die Gaseinschlüsse der Körper hergeben, indem die Eisenmeteorite Sauerstoffverbindungen des Wasserstoffes und nicht, wie die Steinmeteorite, Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffes in sich enthielten. Die Steinmeteorite, die in ihrer petrographischen Struktur die weitaus grössere Mannigfaltigkeit aufweisen, kommen als Individuen ungleich seltener vor; so sind z. B. nach Gümbel's Zählung unter sämmtlichen innerhalb der Grenzen Bayerns niedergefallenen Meteoren nur fünf für die Steinmeteorite anzusprechen, während ein sechstes Exemplar, das in Würzburg existirte, den vorhandenen Beschreibungen nach wohl auch dahin zu zählen ist [177]. Daubrée bildet nach dem spezifischen Gewicht (dasjenige des reinen Wassers = 1 gesetzt) die Gruppe der Sideriten (Holosideriten mit der Dichte 7 bis 8; Syssideren mit der Dichte 7,5 bis 8,5; Sporasideren mit der Dichte 3 bis 7, letztere wieder in Polysideren, Oligosideren und Kryptosideren zerfallend) und der Asideriten. Damit ist denn eine weit leichter erkennbare Scheidelinie gezogen, als durch Rose's beide Kategorieen. Nickel und Magnetkies*) sind übrigens Stoffe, die fast durchgängig in allen Meteoriten angetroffen werden. Nicht minder ist für sie jene schwarze Schlackenkruste charakteristisch, welche sie ringsum in der Dicke von einigen Millimetern umschliesst und aller Wahrscheinlichkeit nach dem Oxydations- und Verbrennungsprocesse entstammt, welchem die mit oft rapider Schnelligkeit in die Erdatmosphäre eindringende Sternschnuppe ausgesetzt und durch welchen auch die Lichterscheinung bedingt ist. Eine überwiegende Anzahl dieser kleinen Metallbälle findet vermuthlich in der Luft auf diese Weise ihren Untergang; die Verbrennungsprodukte gehen in der Atmosphäre auf. Auf Wahrscheinlichkeitsschlüsse gestützt haben Coulvier-Gravier und Newcomb die Zahl der an der oberen Luftgrenze sich entzündenden Meteorite, der eine zu 40 Millionen, der andere gar zu 146 Milliarden, berechnet [179], während es doch keinem Zweifel unterliegt, dass nur ein winziger Bruchtheil dieser Mengen die Erdoberfläche wirklich erreicht. — Etwas Auszeichnendes für viele Meteormassen, jedoch nicht für alle**), sind die sogenannten Widmanstätten'schen Figuren. Deren

---

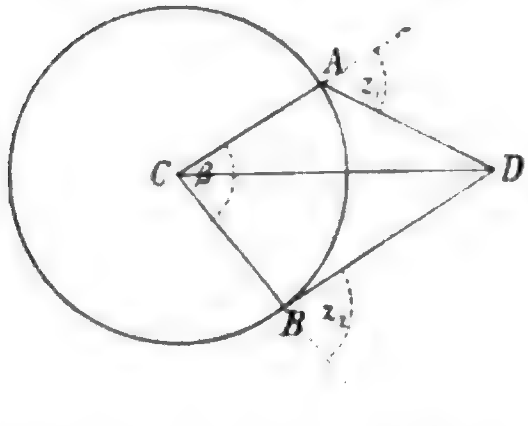
*) L. Smith hat festgestellt [178], dass die attraktive Kraft des Meteoreisens wesentlich von den darin eingesprengten Quantitäten Nickel und Kobalt herrührt und nach Beseitigung derselben verschwindet. Das gewöhnliche, bei 110° getrocknete Eisenoxydhydrat ist noch schwach magnetisch und verliert die letzten Spuren von Magnetismus erst bei einer Temperatur von 400°.

**) So berichtet der nämliche Forscher, dessen in der vorigen Randnote gedacht wurde, von einem in Amerika gefallenen Sideriten, der, obwohl aus

Entdecker, Edler v. Widmanstätten, hat zwar selbst nichts über seine Beobachtungen veröffentlicht, wohl aber berichtet v. Schreibers [181], dass derselbe zuerst den glücklichen Einfall gehabt habe, einzelne Bruchflächen im Meteoreisen anzuschleifen, zu poliren und mit verdünnter Schwefelsäure zu behandeln, worauf dann geometrische Figuren in ziemlich verwickelter Zeichnung hervortraten. Für die krystallographische Untersuchung der Meteore und die mineralogische Orientirung ihrer Schnittflächen hat Bresina [182] diese Gebilde zu verwerthen gelehrt, und hiefür eignen sie sich weit besser, als zum Kennzeichen des Meteorcharakters einer Eisenmasse, wie denn leider untrügliche Kennzeichen überhaupt noch nicht aufgefunden sind. Selbst hervorragende Autoritäten haben bei diesen Bestimmungen Irrthümer nicht vermeiden können [183].

Die Bewegungsverhältnisse dieser neuen Art von Himmelskörpern hat man seit etwa 80 Jahren eingehend zu erforschen begonnen, nachdem bereits der uns von den Kometen her bekannte Dörffel gegen das Ende des XVII. Jahrhunderts eine auf ganz richtige Grundsätze basirte Bahnbestimmung für eine Feuerkugel durchgeführt hatte [184]. Aus einer längeren Reihe von Korrespondenzbeobachtungen kann man, wie Brandes und Benzenberg in einer gemeinsam ausgearbeiteten Schrift darlegten [185], die Geschwindigkeit, die Bewegungsrichtung, sowie den Ort des Aufleuchtens und Verschwindens mit ziemlich grosser Genauigkeit ermitteln, und es kommt also wesentlich darauf an, viele und gute, womöglich auch synchrone Aufzeichnungen über den Gang einer Sternschnuppe am Himmel zur Verfügung zu haben, zu welchem Zweck nach Heis und Lehmann-Filhès parallatisch montirte Maschinchen, die sogenannten Meteoroskope, dienen, mittelst deren Rektascension, Deklination und Positionswinkel für irgend einen Punkt der Meteorbahn unmittelbar zu erhalten sind [186]. Um den mathematischen Charakter der hier in Frage kommenden Aufgaben an einem allerdings sehr speziellen Falle zu erläutern, sei auf Fig. 3 verwiesen,

Fig. 3.



wo A und B auf der kugelförmigen Erde (Mittelpunkt C) zwei unter dem nämlichen Meridiane gelegene Orte von bekanntem Breitenunterschied β ($= \sphericalangle ACB$) vorstellen sollen, während in D ein Meteor sich befinde, dessen augenblickliche Entfernung DC vom Erdcentrum man zu kennen wünscht. Haben zur gleichen Zeit die in A und B stationirten Beobachter die Zenithdistanzen z_1 und z_2 gemessen, resp. andere Winkelgrössen eruirt, aus welchen diese Bestimmungsstücke berechnet werden können, so kennt man in dem Viereck ACBD die Seiten $AC = BC =$ dem Erdhalbmesser, $\sphericalangle ACB = \beta$, $\sphericalangle CAD = 180^0 - z_1$, $\sphericalangle CBD = 180^0 - z_2$, und aus diesen fünf Stücken ergiebt sich die gesuchte

Eisen, Nickel, Kobalt, Phosphor und Kupfer bestehend, gleichwohl nichts den Widmanstätten'schen Figuren Aehnliches erkennen liess [180].

Diagonale C D des Viereckes nach bekannten Vorschriften der ebenen Trigonometrie. Nachdem durch Anwendungen auch der feinsten Rechnungsweisen Heis*), Denison Olmsted, Quetelet, A. Herschel, H. A. Newton und viele Andere ausreichende Daten über die Lage einer Reihe von Meteoritenbahnen im Raume zur Verfügung gestellt hatten, schrieb Schiaparelli sein klassisches Werk über diesen Gegenstand, durch welches viele der einschlägigen Fragen endgültig entschieden, viele wenigstens der Lösung näher geführt wurden. Wir geben von diesem Werke, resp. von der deutschen Bearbeitung desselben, welche wir G. v. Boguslawski verdanken [188], nachstehend eine gedrängte Analyse. Zuerst werden die verschiedenen Geschwindigkeiten und Erscheinungs- oder Verschwindungshöhen der Sternschnuppen erörtert, sodann zeigt der Verfasser, wie die Periodicität einzelner Meteoransammlungen **) — man spricht von Meteorschwärmen und unter Umständen sogar von Meteorschauern — sowie das an diesen wahrgenommene Herabkommen von fixen Punkten des Himmelsgewölbes, den Radiationspunkten, mehr und mehr den kosmischen Ursprung dieser Körper zur Gewissheit machte. Die Bewegung der Erde bringt es mit sich, dass an dem Punkt des Himmels, auf welchen die augenblickliche Tangente der Erdbahn hin gerichtet ist, die Radiationspunkte sich zusammenzudrängen, an dem diametral entgegengesetzten dagegen auseinanderzurücken scheinen; ein Blick auf die wohl ohne weitere Erläuterung verständliche Fig. 4 verschafft die Ueberzeugung, dass die Dichte der Sternschnuppen am Apex eine weit grössere sein muss, als am Antiapex (ungefähr das sechsunddreissigfache). Es wird weiter gezeigt, unter welchen Verhältnissen die Anziehung der Erde das Herabfallen der Meteore bedingt; die Schnelligkeit, mit welcher sich dieselben der Erde nähern, ist, unter $\mathfrak{v}$ die eigene Bahngeschwindigkeit der Erde verstanden, zwischen den Grenzen

$$(\sqrt{2}+1)\mathfrak{v} = 2{,}414\,\mathfrak{v} \text{ und } (\sqrt{2}-1)\mathfrak{v} = 0{,}414\,\mathfrak{v}$$

eingeschlossen. Im siebenten Kapitel diskutirt Schiaparelli die von den Planeten auf die Meteorzüge ausgeübten Störungen, durch welche die Bahnen in der sonderbarsten Weise umgestaltet werden können,

*) Ein wahres Musterbeispiel für die Art und Weise, wie ein Meteoritenforscher vorkommenden Falles eine Detailuntersuchung anzustellen habe, ist Heis' Bahnbestimmung der grossen Feuerkugel vom 4. März 1863. Von allen möglichen Orten her wusste er Nachrichten über dieses Phänomen einzuziehen, und da diese auf den Osten Hollands als den Ort des Niederfalles hinzuweisen schienen, reiste er mit improvisirten Instrumenten selbst dorthin und ermöglichte es durch sein eigenthümliches Inquirirungssystem, nicht blos für die Elemente der von dem Meteor beschriebenen hyperbolischen Bahn die nöthigen Daten erlangen, sondern auch mit grosser Sicherheit eine Gegend von wenigen Quadratkilometern Inhalt ausmitteln zu können, innerhalb deren ersteres in den Boden eingedrungen sein musste [187].

**) Am wichtigsten und am meisten in die Augen fallend sind die Schwärme des August und des November (der letztgenannte führt in alten englischen Manuskripten den Namen der Thränen des heiligen Laurentius). In der Nacht vom 11. zum 12. November 1799 beobachtete A. v. Humboldt einen Sternschnuppenregen in Cumana, bei welchem vier Stunden lang Sternschnuppen und Feuerkugeln mit breiten leuchtenden Streifen zu Tausenden fielen. Das Phänomen war nahezu gleich intensiv auf einem Gebiete von 921 000 Quadratmeilen Flächeninhalt beobachtet worden [189].

im achten und neunten aber stellt er jene Betrachtungen über die Stabilität kosmischer Wolken an, welche ihn zu seiner berühmten Theorie von den innigen verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen Kometen und Sternschnuppenschwärmen geführt haben. Sobald ein Komet im Perihel sich der Sonne auf eine Distanz nähert, die noch unter der — theoretisch mit einer gewissen Annäherung zu bestimmenden — Stabilitätsgrenze bleibt, so wird durch die Anziehung der Sonne der Komet völlig zerstreut, wenn er vorher ein gleichförmiges Gefüge besass; falls aber seine Dichte gegen das Centrum hin zunimmt, trennen sich zuerst die äusseren Theile los, und der Auflösungsprocess schreitet mit der Verminderung der Sonnendistanz immer mehr nach innen zu fort. Kometen wären demgemäss als Konglomerate von Meteorkörpern, Meteorschwärme, denen eine selbstständige Kegelschnittbahn mit der Sonne im Brennpunkte zukommt, als aufgelöste Kometen zu betrachten. Nachstehendes Beispiel in der Randnote *) mag darthun, wie genau hie und da berechnete Bahnkurven von Kometen und Meteorschwärmen übereinstimmen. Uebrigens ist Schiaparelli als vorsichtiger Forscher weit davon entfernt, die absolute Identität von Kometen und Meteorringen behaupten zu wollen, wie er denn sogar auch die Identität von Sternschnuppen und Meteoren nicht für sicher gewährleistet erachtet. In Uebereinstimmung mit E. Weiss' trefflicher Recension des Schiaparelli'schen Werkes halten wir diese Rücksichten für allzu skrupulös und die positiven Gründe für durchschlagend [191]. Andere Fachmänner, wie Secchi [192], betonen entschieden, dass der Unterschied zwischen Kometen und Sternschnuppenschwärmen ein rein äusserlicher sei. So geistreich

Fig. 4.



*) Newcomb stellt dem Auguststrom einen Kometen von längerer Umlaufszeit zur Seite [190]. Ein Blick auf das Vergleichsschema zeigt, dass die Differenz der beiderseitigen Elemente geringer ist, als der wahrscheinliche Fehler, mit welchem man angesichts der Rechnungs- und Beobachtungsschwierigkeiten jedes Element behaftet denken muss. Nur bei den Umlaufszeiten, für welche ein genauer Werth am schwersten zu finden ist, erscheint eine grössere Kluft.

	Perseiden.	Komet III von 1862.
Periheldurchgang	23. Juli 1866.	22. August 1862.
Länge des Perihels	343° 38′	344° 41′
Länge des aufsteigenden Knotens	138° 16′	137° 27′
Bahn-Neigung	63° 3′	66° 26′
Periheldistanz (1 die der Erde)	0,964	0,961
Umlaufszeit in Jahren	108?	121,5
Bewegungsinn	Rückläufig.	Rückläufig.

diese Identitätstheorie auch ist, und so sehr sie bei ihrem ersten Auftreten allseitig den Eindruck des Neuen, Ueberraschenden, ja Verblüffenden machte, so ist sie dennoch nicht gänzlich als „proles sine matre creata" zu bezeichnen. Piazzi hatte in seiner uns bereits bekannten Monographie [193] des Kometen von 1811 auf manche Analogieen zwischen beiden Gattungen von Weltkörpern aufmerksam gemacht, und nach Chladni [194] hatten auch schon Hevel, Wallis, Halley und Hartsoeker die kometenartige Natur der Feuermeteore bemerkt. — Wir fügen noch bei, dass eines der wenigen Argumente, die gegen Schiaparelli zu sprechen schienen, durch Lehmann-Filhès [195] beseitigt worden ist. Die Vertheilung der parabolischen Meteorbahnen im Raume sollte nämlich nach den Annahmen des Mailänder Astronomen eine zufällige sein, und diess widersprach der Erfahrung; es widerspricht ihr aber nicht mehr, sobald man sich vergegenwärtigt, dass ja der Standpunkt des Beobachters kein mathematischer Punkt ist, sondern auf einem runden Körper von immerhin beträchtlichen Dimensionen sich befindet. Mit dieser Korrektion erscheinen die Radiationspunkte am Himmel gleichmässig vertheilt. Der Augustschwarm strahlt aus vom Sternbilde des Perseus, der Novemberschwarm vom Löwen, weshalb für beide Phänomene auch die Bezeichnungen Perseiden und Leoniden gebräuchlich geworden sind.

Wohl die grosse Mehrzahl der Astronomen und Physiker erblickt zur Zeit also in den Sternschnuppen- und Meteoritenschwärmen eine besondere Art von Himmelskörpern, die einen selbstständigen Charakter tragen und mit der Kant-Laplace'schen Kosmogonie sehr wohl sich vertragen [196]. Tschermak freilich, der auch einen Unterschied zwischen Meteoren und Sternschnuppen statuiren möchte, fasst den kosmischen Ursprung der ersteren anders auf. Wenn nämlich andere Weltkörper im Verlaufe der auf ihnen vor sich gehenden geologischen Umwälzungen heftige vulkanische Auswürfe erleben, so sollen diese Auswürflinge in den Weltraum hinausgeschleudert werden und zum Theile in die Attraktionssphäre der Erde gelangen, was immerhin denkbar und jedenfalls weit eher möglich ist, als dass im Sinne Meunier's und Bell's die Eruptionsprodukte irdischer Vulkane sich solange im Universum herumtreiben sollten, bis sie gelegentlich wieder auf ihren Mutterplaneten niederfielen. Mit speziellem Bezug auf den Mond hatte ein alter italienischer Naturforscher, Namens Terzago, den Tschermak'schen Gedanken über die Herkunft der Meteorsteine ausgesprochen [197]: „Labant philosophorum mentes sub horum lapidum ponderibus; ni dicere velimus, lunam terram alteram, sive mundum esse, ex cujus montibus divisa frusta in inferiorem nostrum hunc orbem delabantur." An die hiemit angeregte Frage sind später Olbers, Brandes, Laplace, Biot und Poisson herangetreten, und A. v. Humboldt hat uns über die Stellungnahme dieser Männer zu dem Probleme einen genauen Bericht erstattet [198]*). Ballistisch

*) A. v. Humboldt erwähnt auch des Einfalles griechischer Philosophen, von denen Diogenes Laertios berichtet, dass nämlich die Sonne die Heimath der Meteorite sei. Fusinieri nahm an [199], in den höchsten Schichten unserer Atmosphäre schwebten metallauflösende Gase, die an sich einen weiten Raum einnähmen, sich aber plötzlich und rasch verdichten könnten.

betrachtet, scheitert die Möglichkeit eines Zusammenhanges der Meteoriten mit den Mondvulkanen an den furchtbaren Anfangsgeschwindigkeiten, welche die Lapilli erhalten haben müssten, und für welche uns der irdische Vulkanismus gar keine Vergleichspunkte bietet. Man kann jene Anfangsgeschwindigkeit leicht berechnen, wenn man erwägt, dass der emporgeschleuderte Stein mindestens bis zu einem neutralen Punkte getrieben werden müsste, der von Erde und Mond gleichstark angezogen wird. Wenn d die Distanz der Centra beider Himmelskörper, x die Entfernung des neutralen Punktes vom Mondmittelpunkt, M_1 und M_2 die Massen von Erde und Mond bedeuten, so ist x der Proportion

$$x : (d - x) = \sqrt{M_2} : \sqrt{M_1}$$

zu entnehmen und hierauf nach den Gesetzen der gleichförmig verzögerten Bewegung aus der durchlaufenen Wegstrecke die von dem ursprünglichen Impuls herrührende Geschwindigkeit herzuleiten. Es kommt noch hinzu, dass, wie im nächsten Kapitel des Näheren erhellen wird, von einer energischen vulkanischen Thätigkeit auf dem Monde wenig mehr zu verspüren ist.

Pilar ist geneigt [200], den Meteoriten auch eine hohe Bedeutung in rein geophysikalischer Beziehung beizumessen. Dieselben entziehen, indem ihre Nickel- und Silikatverbindungen in der Luft oxydiren, letzterer den Sauerstoff und, wenn nachgerade die Oxyde in Hydrate übergehen, wird irdisches Wasser durch sie gebunden, so dass Luft und Wasser einen unausgesetzten Verlust durch das Auftreffen der Meteorsteine erleiden. Auch reissen tangential bewegte Massen kleine Theilchen der Atmosphäre los und führen sie in den Weltraum fort. Qualitativ sind diese Defekte gewiss vorhanden, allein quantitativ sind sie als unmessbar klein zu bezeichnen, und die Wissenschaft sowohl der Gegenwart als auch einer ziemlich fernen Zukunft hat mit ihnen ebensowenig zu rechnen, wie mit der unleugbaren Thatsache, dass die Volumina und Massen sämmtlicher Planeten und der Sonne selbst unter dem Einflusse des Meteorhagels sich stetig vergrössern.

§. 14. **Das Thierkreislicht.** Arabische, persische und türkische Schriftsteller unterscheiden zwischen einer wahren und einer falschen Morgendämmerung, welch letztere auch als „Wolfsschwanz“ bezeichnet wird, wegen der länglichen, schlanken Form, in welcher sie am Himmel erscheine, und die Ritualvorschriften der Muhammedaner, den Koran nicht ausgeschlossen, machen den Geistlichen, welche den Beginn des Tages von der Spitze des Minarets aus zu verkündigen haben, scharfe Trennung der ganz verschiedenen Phänomene zur Pflicht. Redhouse, dem wir für diese Nachweisungen [201] zu Danke verpflichtet sind, sucht in einer zweiten Abhandlung den Beweis dafür zu erbringen, dass diese falsche Dämmerung der Orientalen völlig dasselbe ist, was wir heute als Thierkreis- oder Zodiakallicht kennen, und verschiedene Astronomen (Airy, Piazzi Smith), deren Meinungsäusserungen er eingeholt hat, stimmen seiner Auffassung zu [202]. Die Thatsache scheint hienach festzustehen, dass eine Erscheinung, an welcher die abendländischen Fachleute lange Zeit achtlos vorübergiengen, den unter einem günstigeren Himmelsstriche wohnenden Laien längst bekannt war, und hiemit vereinigt sich auch ganz gut, was

Humboldt mittheilt [203]: „Mit nicht geringer Wahrscheinlichkeit kann man vermuthen, dass das merkwürdige, von der Erde pyramidal aufsteigende Licht, welches man auf der Hochebene von Mexiko 1509 vierzig Nächte lang am östlichen Himmel beobachtete, und dessen Erwähnung ich in einem altaztekischen Manuskripte der königl. Pariser Bibliothek, im Codex Telleriano-Ramensis aufgefunden habe, das Thierkreislicht war.“ Wenn man etwa die Berechtigung eines Zweifels an Redhouse's Angaben daraus herleiten wollte, dass Delambre mit gewohnter Eilfertigkeit die Entdeckung des Zodiakallichtes dem Reisenden Chardin zuschreibt [204], der den persischen Hofastronomen den ihnen noch ganz unbekannten Lichtschein („die kleine Lanze“) zuerst gezeigt habe, so ist zu erwiedern, dass nach Humboldt's genauerer Untersuchung in diesem Falle gar nicht vom Zodiakallicht, sondern von einem Kometenschweife die Rede war, dessen Kopf der Osthalbkugel verborgen blieb [205]. Von Männern der Wissenschaft hat Rothmann, der Hofastronom des Landgrafen Wilhelm von Hessen-Kassel, das Zodiakallicht zuerst gesehen [206], im Druck erwähnt findet es sich erstmalig bei Childrey [207], aber seine Erforschung datirt erst von Dominic Cassini und dem Genfer Fatio de Duiller, welch' ersterer so überrascht von dem ihm plötzlich sich bemerklich machenden Dasein einer neuen Himmelserscheinung war, dass er kurzweg behauptete, bis vor wenigen Jahren könne es etwas Aehnliches noch gar nicht gegeben haben [208]. Cassini gab dem gelehrten Publikum in einem eigenen Schriftchen [209] Nachricht von dem, was er und Fatio am 18. März 1683 gesehen hatten, und der letztere stellte sodann auf seinem Gute Duiller durch $2^1/_2$ Jahre sorgfältige Beobachtungen an, die er in einem offenen Briefe [210] an seinen Freund und Lehrer beschrieb, und aus denen er gewisse wichtige Erfahrungssätze zog, wie, dass der Lichtschein der Sonne nachfolge, dass er im Herbste vor Sonnenaufgang zu sehen sei u. s. w. [211]. Eingehend beschäftigte sich mit diesem neuen Objekt astronomischer Forschung der bekannte Akademiker Mairan, dessen grosses Werk [212], obwohl es von phantastischen Spekulationen nicht frei ist und zumal das Zodiakallicht in eine ganz unnatürliche Verbindung mit den Polarlichtern hineinzwängt, gleichwohl ein wichtiges Repertorium für die älteren Beobachtungen und Hypothesen bildet. Nachher verlor sich das Interesse an dem der exakten Forschung freilich sehr schwer zugänglichen Phänomen, und in Europa sind während des langen Zeitraumes von 1750—1800 blos gelegentliche Beobachtungen und Bemerkungen darüber von Messier und A. E. Schön [213] zu verzeichnen. Dagegen drängte sich dasselbe den wissenschaftlichen Reisenden auf, welche die Tropenländer besuchten, einem Lacaille, einem Pingré und vornehmlich dem Weltumsegler Horner, der die erste ganz zuverlässige Zeichnung davon lieferte [214]. Wie schon aus der obigen Entdeckungsgeschichte des Thierkreislichtes hervorgeht, eignen sich eben südliche Gegenden ganz ungleich besser dazu, den Lichtschein nach allen Seiten hin zu ergründen, und so hat man ganz natürlich darauf Bedacht genommen, die Reisenden mit den nöthigen Anweisungen zu versehen. Faye arbeitete in diesem Sinne eine Instruktion für die Offiziere der Armee aus [215], welche im Jahre 1862 unter Bazaine's Kommando nach Mexiko abgieng, Heis gab den

sechs Jahre später zur Beobachtung des Venusdurchganges ausziehenden Gelehrten beherzigenswerthe Winke [216] mit, und E. Weiss widmete demselben Gegenstande nicht weniger als sieben Seiten seiner trefflichen „Anweisung zur Beobachtung allgemeiner Phänomene am Himmel mit freiem Auge oder mittelst solcher Instrumente, wie sie dem Reisenden zur Verfügung stehen“ [217]*). Neuerdings haben hervorragende Astronomen, wie Julius Schmidt, Neumayer, Brorsen u. a., dem zielbewussten Studium des Zodiakallichtes ihre Kräfte geweiht, Heis legte die aus langjährigen Beobachtungen auf der Sternwarte zu Münster gewonnenen Ergebnisse vor [219], Houzeau berichtete über seine unter einem südlichen Himmel erhaltenen Eindrücke [220], Jones machte uns mit den Erfahrungen seiner Seereisen bekannt [221], und später kam noch die ausgedehnte Beobachtungsserie des Amerikaners Lewis in Germantown hinzu, über welche Holetschek referirte [222]. Vieles ist also schon geleistet worden, doch bleibt auch Vieles noch aufzuklären, und namentlich den wissenschaftlichen Expeditionen öffnet sich hier noch ein weites Feld segensreicher Thätigkeit; wir werden übrigens sofort Gelegenheit erhalten, uns zu überzeugen, dass unsere Entdeckungsreisenden zum Theil dieser ihrer Pflicht eingedenk geblieben sind. Das Thatsächliche, was wir von der Erscheinung wissen, besteht nun in Kürze in Folgendem.

Im Frühling (von Januar bis April) ist das Licht auch in unseren höheren Breiten, 1—2 Stunden nach Sonnenuntergang, deutlich zu erkennen. Die Längsaxe des der Milchstrasse ähnelnden und von dem Dämmerungsgürtel nicht immer mit genügender Schärfe sich abhebenden Schimmers**) fällt annähernd in die Ekliptik, daher der eigenthümliche Name. Je steiler die Ekliptik über den Horizont emporsteigt, um so günstiger sind die Verhältnisse für die Beobachtung gelagert. Indess ist die Neigung des Lichtscheines eine sehr veränderliche, wie wir erst kürzlich wieder durch v. Mechow erfuhren, denn während dieser Afrikareisende in Malange den Lichtkegel immer so aufsteigend gesehen hatte, dass am Nordfusse ein spitzer, am Südfusse ein stumpfer Winkel sich bildete, stand bei einer anderen Beobachtung unter 8° 52′ lat. austr. das Licht plötzlich als ein fast überall gleich breiter Streifen auf dem Horizont, mit diesem rechte Winkel einschliessend [224]. Ferner verschiebt sich das Zodiakallicht stets dem Auf- und Untergangspunkt der Sonne folgend am Horizonte, und zwar so regelmässig, dass Rohlfs, der in der Wüste das Phänomen allnächtlich ohne jede Voreingenommenheit theoretischer Natur betrachtete, sich des Eindrucks nicht erwehren konnte, dasselbe leuchte

---

*) Das oben gelegentlich der Sternschnuppenbeobachtungen erwähnte Meteoroskop hatte nach den ursprünglichen Intentionen seines Erfinders Neumayer wesentlich auch den Zweck, mechanisch die Grenzlinien des Zodiakallichtes zu umreissen. Sobald der Zeichenstift angesetzt war, begannen sofort die Deklinations- und die Rektascensionswalze des Instrumentes sich zu drehen [218].

**) Lambert, dem wir die ersten einlässlichen Studien über Art und Dauer der Dämmerung verdanken, berührt die hierin liegende Schwierigkeit mit folgenden Worten [223]: „Paullatim crepusculum miscetur lumini zodiacali, unde hanc ob causam et ob frigus intensum observatio est abrupta.“ Wie in diesem Einzelfalle mag es wohl auch in anderen Fällen ergehen, und die orientalische Kennzeichnung des Thierkreislichtes als einer falschen Dämmerung findet in solchen Vorkommnissen ihre Rechtfertigung.

der Sonne gewissermassen vor und nach [225]. Bei genauerem Zusehen hat man drei Sondererscheinungen als maassgebend hervorzuheben gelernt: den Zodiakalkegel, den Zodiakalstreifen und den Gegenschein, auf welch' letzteren zuerst von Brorsen aufmerksam gemacht wurde. Nur der erstgenannte Bestandtheil ist erheblichen Gestaltveränderungen unterworfen. Schwer pflegt der Zodiakalstreifen gehörig unterschieden zu werden, eine Lichtzone, welche etwas breiter als die Milchstrasse ist und längs der Ekliptik von Horizont zu Horizont zieht. Der Gegenschein ist ein Lichtfleck am Himmel, der von der Sonne ziemlich um 180° abliegt und somit, um mit jener in Opposition zu bleiben, an dem Horizonte hinwandert. Sehr selten zeigt sich darin ein hellerer Kern, der dann etwa 2° nördlich von der scheinbaren Sonnenbahn zu liegen kommt. Mit dem Gegenschein darf man ja nicht den auf eine Reflexwirkung zurückzuführenden Wiederschein verwechseln [226]. Nach Heis [227] und Serpieri [228] kommt das Zodiakallicht auch in eigenthümlichen halbkreisartigen, brücken- und ringartigen Erscheinungen vor, doch sind dieselben bisher nur selten beobachtet worden.

All' das, was wir bisher von den Eigenschaften des merkwürdigen Himmelslichtes mittheilten, beruhte auf blossen Beobachtungen, und ein Gleiches gilt von den Theoremen Jones', dass z. B. der Lichtschein mit dem Beobachter von Nord nach Süd und umgekehrt wandere, dass auch das Zodiakallicht unter Umständen einer Art von Mondreflexion entspringen könne — Theoreme, die freilich noch gar sehr der Bestätigung bedürfen. Die physikalische Untersuchung hat erst vor nicht gar langer Zeit ihren Anfang genommen, aber doch bereits zu ganz erfreulichen Resultaten geführt. Während E. Weiss mit allem Rechte noch vor neun Jahren schreiben durfte [229], dass die polariskopische Prüfung des Lichtes durch Liais keine Spur von Polarisation*) ergeben habe, meldet Wright [230] umgekehrt, dass nur das übliche Savart'sche Polariskop für diese feinen Messungen zu schwach befunden worden sei. Deshalb wurde ein vervollkommneter Apparat konstruirt, und mit diesem und dem Spektroskop fand sich Folgendes: I. Das Zodiakallicht ist in einer durch die Sonne gehenden Ebene polarisirt; II. der Betrag der Polarisation ist ungefähr 15%; III. das Spektrum ist, abgesehen von seiner geringeren Lichtstärke, von demjenigen der Sonne nicht verschieden; IV. das Licht stammt demnach von der Sonne und wird von einer starren Substanz zurückgeworfen. Ausser Wright hat auch Angström in seinen berühmten Untersuchungen über das solare Spektrum [231] gelegentlich von dem des Thierkreislichtes gesprochen und einige Aehnlichkeit desselben mit

*) Es sei daran erinnert, dass den herrschenden Lehren der Vibrationstheorie zufolge die Lichttheilchen ihre Schwingungen normal zum Lichtstrahl vollziehen, und zwar nach allen möglichen Richtungen hin, die sich in einer zum Strahle normalen Ebene denken lassen. Durch gewisse Zwangsmittel, wie z. B. beim Durchgang durch doppeltbrechende Krystalle, lässt sich diese Willkürlichkeit der Oscillationsrichtungen aufheben und bewirken, dass dieselben ausschliesslich in eine Ebene resp. in zwei zu einander normale Ebenen verlegt werden, und dieser erst durch gewisse Vorrichtungen erkennbare Zustand des Lichtes führt nach Biot den Namen der Polarisation, obwohl die Annahme, welche diesen Namen bedingte, längst wieder aufgegeben ist.

dem fast monochromatischen Nordlichtspektrum dargethan; eine gewisse Linie ist für beide charakteristisch und liefert so einen besseren Beleg für die Analogie beider Erscheinungen, als ihn seiner Zeit Mairan mit Aufgebot aller Mühe zu erbringen vermögend gewesen war. „Ich fand sogar," sagt Angström [232], „Spuren dieser Linie während einer sternhellen Nacht, wo der Himmel gewissermassen phosphorescirte, in dem Spektrum des von allen Theilen des Firmamentes ausgesandten schwachen Lichtes."

Wiewohl Houzeau das Zodiakallicht jenen astronomischen Räthseln beizählt, welche noch ihres Oedipus warten [233], fehlt es trotzdem nicht an Erklärungsversuchen, ja deren Anzahl ist eine so grosse, dass die nachfolgende Besprechung sich jedenfalls nur auf einen Theil derselben erstreckt. Doch werden sich in unserer Aufzählung wenigstens die wichtigeren Theorieen befinden.

a) **Regner.** Wir wissen von dieser Hypothese nur durch Muncke's Referat [234]. Die der Sonne zugewandte Halbkugel der Erde soll das von jener kommende Licht anziehen und verdichten, so dass dasselbe während der Nacht sichtbar wird. Die perioptischen Experimente von Delisle und Marat sollen dieser Ansicht als Stütze dienen.

b) **Mairan.** Das Zodiakallicht ist nichts anderes als die linsenförmig abgeplattete Sonnenatmosphäre. Dem widerspricht die Mechanik, denn es folgt aus den Gesetzen der Centrifugalkraft, dass eine solche Atmosphäre nicht über Punkte hinausreichen kann, deren Abstand vom Sonnencentrum nur 0,436 des Merkurabstandes beträgt. Die Ausdehnung des Lichtes ist aber eine weit grössere [235].

c) **Kant-Piazzi Smith.** Der Erstere erklärt das Thierkreislicht ganz im Sinne seiner kosmogonischen Hypothese als einen die Sonne umschwebenden Nebelring „von feinem und dunstigem Wesen", als einen „Halsschmuck der Sonne" [236]. Mit der Nebulartheorie bringt dasselbe gleichfalls in Verbindung der Schotte Piazzi Smith, der zur Erforschung solcher Himmelserscheinungen, welche sich unter den Tropen am besten beobachten lassen, eine eigene Station auf dem Pik von Teneriffa gegründet hatte. Man vergleiche Mädler's Detailbeschreibung dieser Expedition und im Besonderen der Untersuchungen über das Zodiakallicht [237].

d) **Jones-Heis.** Beide treffliche Beobachter (s. o.) entscheiden sich für einen Nebelring, in dessen Mittelpunkt die Erde steht. Theilweise deckt sich mit dem Resultate der mühevollen Forschungen dieser Männer dasjenige von

e) **Houzeau.** Allerdings ist die schimmernde Materie ein Begleiter der Erde, nicht aber ist ihre Anordnung eine ringförmige [238]. Vielmehr ist es eher ein in der Ebene der Erdbahn gelegener Federbusch oder Kreissektor, dessen Axe sich der Sonne zukehrt. Der obere Theil des Sektors umfasst an der Erdoberfläche eine schmale Zone (von etwa 40°—50° Breite), deren Begrenzungskreise annähernd parallel der Ekliptik verlaufen.

f) **Cassini.** Der erst später ausgebildeten Theorie des Entdeckers zufolge ist die Erscheinung zurückzuführen auf eine Unzahl kleiner planetarischer Körper, welche in Ringform die Sonne umgeben. Er brachte sogar den Fall von Feuerkugeln mit dem Durchgang der Erde durch den Zodiakalring in ursächliche Verbindung.

g) **Fatio de Duiller.** Der Mitbeobachter Cassini's verkleinert noch dessen kleine Planeten und erblickt im Thierkreisscheine einen Gürtel atomartiger, das Licht stark reflektirender Aethertheile. Nur deutet er nicht, wie Kant, darauf hin, dass die Sonne und ihr Gürtel gleichen Ursprungs seien. Auch Laplace, Poisson und Th. Schubert hielten diese Ansicht für die plausibelste, und in engem Kontakt mit ihr befindet sich auch diejenige, an welche unter i) die Reihe kommt, geschildert zu werden.

h) **Suchsland.** Sonnenstrahlen werden an der Marsatmosphäre total reflektirt (?) und vereinigen sich nach der Reflexion in dem anderen Brennpunkt der Marsbahn [239].

i) **L. Euler-Geelmuyden.** Die Analogie des Zodiakallichtes mit den Kometenschweifen hatte bereits Leonhard Euler zum Gegenstande einer besonderen Abhandlung [240] gemacht. Für jene Zeit aber hatte es eben mit diesem geistreichen Analogieenspiel sein Bewenden, und die Anregung blieb ohne alle weiteren Folgen. Ganz anders heute, wo der Norweger Geelmuyden seine auf einem verwandten Gedanken basirende Theorie [241] an diejenige Schiaparelli's von dem Wechselverhältniss zwischen Kometen und Meteorschwärmen anzulehnen in der Lage war. Natürlich könnte nur an Kometen von sehr kurzer Umlaufszeit gedacht werden. Interessant ist Geelmuyden's theoretische Bestimmung der vom Lichtkegel des Zodiakallichtes uns zugesandten Lichtmenge; es gelingt, auf einfache elliptische Integrale die Lösung des Problemes zu reduciren, in dessen Behandlung übrigens bereits der Verf. dieses dem genannten Autor vorangegangen war [242]. —

Ein völlig befriedigender Entscheid über das Wesen des Zodiakallichtes liegt noch in weiter Ferne; ist es doch noch nicht einmal gelungen, sich völlig darüber zu vergewissern, ob dasselbe mehr der Sonne oder mehr der Erde als Anhängsel zuzurechnen sei. Sammlung von Beobachtungsmaterial bleibt die Hauptsache, und es wird die Sache aller Betheiligten, der Physiker und Astronomen, wie der geographischen Forschungsreisenden sein, dafür zu sorgen, dass auf sie nicht der Tadel des alten Mairan falle: „Je ne comprends pas par quel sort un objet, qui touche de si près l'astronomie moderne et la physique céleste, a été négligé jusqu'à ce point par les astronomes et les auteurs météorologiques."

§. 15. **Der Weltraum und seine Erfüllung.** Ob man nicht ausser den in den bisherigen Paragraphen dieses Kapitels verzeichneten Körpern mit der Zeit noch andere in den Kreis der Betrachtung wird ziehen müssen, bleibe dahingestellt. Chladni [243] zählt hieher gewisse nebelförmige Gebilde, die sich auf der Sonne projicirt hätten, namentlich jenes, welches De Rostan am 9. August 1762 durch die Camera obscura abgezeichnet habe. Höchstens könne man damit die Wolke vergleichen, welche 458 n. Chr. unter der Regierung des byzantinischen Kaisers Leo Thrax erschienen sei, und den Stern, den des Gregor von Tours „Historia Franconum" vor dem Monde sich zeigen lässt. Es liegt auf der Hand, dass wir, wenn man überhaupt die Realität solcher Nachrichten gelten lässt, die bezüglichen Erscheinungen wohl ebensogut in das Reich der meteorologischen Optik, als in dasjenige der Kosmologie verweisen können. Vielleicht verhält es

sich ähnlich auch mit jenen „trockenen Nebeln“ von 1783 und 1823, welche Houzeau (s. o.) nebst dem Zodiakallichte zu den „phénomènes énigmatiques“ rechnet. A. v. Humboldt zählt 17 historisch leidlich beglaubigte Fälle auf, in denen eine unerklärliche Abnahme des Tageslichtes bemerkt worden ist [244]; sonderbarerweise fehlt es in der allem Wunderglauben abholden Neuzeit gänzlich an Beobachtungen dieser Art, für die nicht sofort im Höhenrauch oder ähnlichen terrestrischen Vorgängen die genügende Erklärung gegeben werden konnte. Der angeblich kosmische Staub, den Nordenskiöld in den Polarländern auffand — auch der von ihm auf grönländischem Binneneise mitgenommene Krykonit gehört hierher — wird uns später noch beschäftigen; die Behauptung des berühmten Polarforschers [245] ist vielleicht noch nicht fest genug begründet, doch würde nach den Aufkläruugen, welche wir über die Meteorite und deren theilweise Verflüchtigungen in der Luft gewonnen haben, das Niederfallen von Meteorstaub auf die Erde nicht unwahrscheinlich sein.

Ueber die Frage, ob die intrastellaren und intraplanetaren Räume mit irgend einem — selbstverständlich äusserst feinen und nach den überkommenen Begriffen imponderablen — Medium erfüllt seien, sind die Meinungen von jeher auseinandergegangen. Von dem geistvollen Schweizer Loys de Cheseaux hat man eine dieses Thema behandelnde Abhandlung „Sur la force de la lumière et sa propagation dans l'éther“, welche als Bestandtheil seiner grösseren Kometenschrift [246] erschien. Er verbreitet sich daselbst über die Verbreitung der Fixsterne, deren Anzahl er als unbegrenzt gross betrachtet, und folgert weiter, dass, wenn der Weltraum absolut leer wäre, das ganze Firmament uns in gleichmässigem Strahlenglanze erscheinen müsste. Erfahrungsgemäss verhält es sich anders, und es bleibt daher nur übrig anzunehmen, dass eine Auslöschung des Lichtes bei dessen Durchgang durch den Weltäther statthaben müsse. Die Dichtigkeit desselben soll sich zu jener des Wassers wie 1 : 330 000 Trillionen verhalten. Halley hatte vorher schon um die Prämisse von Loys' Hypothese dadurch herumzukommen gesucht [247], dass er die unendliche Vielzahl der selbstleuchtenden Weltkörper in Abrede zog, aber Olbers [248] und Struve [249] pflichteten der „Extinktionstheorie“ bei. Neuerdings hat auch Huggins die Möglichkeit angedeutet [250], dass vielleicht die Einförmigkeit des Nebenspektrums in einem Verschwinden der Lichtstrahlen seinen Grund habe, und zwar wäre, wenn es damit seine Richtigkeit hätte, anzunehmen, „dass das Absorptionsvermögen des Weltraumes für Lichtstrahlen ein allgemeines und nicht blos ein elektives sei, d. h. dass alle Strahlengattungen gleichförmig absorbirt werden.“

Von einem ganz anderen Standpunkte aus kam Encke auf die Annahme eines die Räume erfüllenden Mittels. Ihm ist bekanntlich der — von v. Lindenau als die schönste astronomische Entdeckung des XIX. Jahrhunderts bezeichnete — Nachweis zu danken, dass dem von Pons im Jahre 1811 entdeckten Kometen nur eine Umlaufszeit von drei Jahren zukomme. „Bald nachher,“ schreibt Wolf [251], „fand Encke, dass die rein elliptische Umlaufszeit des Kometen zwischen jeder Erscheinung um drei Stunden kürzer wird, worauf Olbers schloss, es möchte sich da ein Widerstand des Mittels offenbaren, eine

Ansicht, die Encke nun weiter ausführte, während Bessel fand, der Grund könnte ebensogut mit der Bildung und dem späteren Verluste des Schweifes zusammenhängen"*). v. Asten, der bezüglich der späteren Wiederkünfte des periodischen Kometen in Encke's Fusstapfen trat, hat gleichwohl die Nothwendigkeit der Annahme eines Widerstand leistenden Mittels viel weniger gefühlt, er will, wie er am Schlusse einer längeren Auseinandersetzung über diesen Punkt [252] betont, die Existenz eines solchen Stoffes zwar nicht gerade leugnen, aber dass derselbe, wenn vorhanden, sehr viel weniger dicht sei, als Encke angenommen hatte, das wagt er jetzt schon zu behaupten. Der neueste Bearbeiter der auf den Kometen influirenden Störungen, Backlund [253], sieht ebenfalls von der Berücksichtigung dieses Elementes gänzlich ab. Jedenfalls geben diese neueren theoretischen Arbeiten uns die Beruhigung, dass Jene, welche aus dem widerstehenden Mittel ein Hauptargument für den endlichen Zerfall unseres Sonnensystemes herleiten (Kap. I, §. 8), nur mit ungeheuer grossen Zeiträumen rechnen dürfen.

Ebenso prekär erscheint die Hülfe, welche der Annahme eines intrastellaren Aethers vielleicht von Seiten der theoretischen Physik erwachsen könnte. Es ist ja freilich wahr, dass nach den in dieser Wissenschaft mehr und mehr heimisch werdenden Anschauungen Licht, Wärme und Polarität auf Aetherschwingungen zurückgeführt werden, allein diesem Aether der Physiker gehen völlig jene Eigenschaften einer gewissen Kompaktheit und Widerstandskraft ab, die für Encke's Medium charakteristisch sind. Zudem ist als Träger und Leiter der Elektricität der Aether nicht mehr ein so nothwendiges Rüstzeug der Naturlehre, wie früher, denn Edlund hat die höchst merkwürdige Thatsache festgestellt, dass elektrische Wirkungen sich auch durch den leeren Raum fortpflanzen können [254]. Was uns persönlich am meisten für die Hypothese des Weltäthers stimmt, ist hingegen Huggins' — von H. J. Klein [255] ausführlich besprochene — Entdeckung, dass die Wärme der Fixsterne noch durch Experimente auf der Erde nachgewiesen werden kann, denn dass auch die Wärmeschwingungen ohne ein permeables Mittel sich bis zu uns sollten fortpflanzen können, erscheint denn doch unmöglich.

Alles in Allem dürfte hienach die grössere Wahrscheinlichkeit für das Dasein einer äusserst fein differentiirten Materie im Weltraume sprechen, deren Resistenz höchstens Körpern, denen selbst ein Minimum von Dichte zukommt, wie den Kometen, fühlbar werden kann. Meibauer geht noch einen Schritt weiter und behauptet [256], dass eine Grenze für die Atmosphären der einzelnen Weltkörper nicht bestehen könne, dass vielmehr diese Atmosphären unmerklich in das übergehen, was man gewöhnlich als Aether bezeichnet, was aber in Wirklichkeit von einer mechanischen Mengung permanenter Gase im Zustande äusserster Verdünnung nicht verschieden sei.

Welche Temperatur besitzt nun dieser Weltraum? Zwei grosse französische Analytiker, Fourier [257] und Poisson [258], haben

---

*) Diese Meinungsverschiedenheit Encke's und Bessel's legte den Grund zu einer heftigen und nie wieder gänzlich behobenen Entzweiung der beiden grossen Astronomen.

hierüber und über das Maass der Verschluckung, welcher die Sternwärme beim Durchwandern riesiger Entfernungen ausgesetzt ist, tiefe Untersuchungen angestellt, allein freilich ist der mathematische Werth dieser letzteren ein ungleich höherer, als ihr physikalischer. Die Ausführungen Poisson's werden uns noch im Kapitel von der Erdwärme (Abtheil. III, Kap. I) beschäftigen müssen. Dass eine gewisse Sternenwärme als Summe der von allen Fixsternen nach einem bestimmten Punkte des Weltraumes entsandten Wärmestrahlen allerorts vorhanden sein müsse, erschliesst Saigey [259] schon aus dem Umstande, dass sonst eine endlose Abkühlung unserer irdischen Atmosphäre eintreten würde. Aktinometrisch hat Pouillet [260], durch Betrachtungen über Strahlenbrechung hat der ältere Svanberg [261] die Temperaturziffer zu ergründen sich bemüht. Freilich stimmen die einzelnen Angaben so schlecht unter einander überein, dass zunächst nur die Unzulänglichkeit der bislang angewandten Methoden hervortritt. So findet Poisson — 13°, Svanberg — 50°, was mit Fourier's oberflächlicher Schätzung (50°—60°) einigermassen harmonirt, Saigey — 65°, Pouillet endlich — 142°. Verhältnissmässig das meiste Zutrauen muss man gewiss dieser letzteren Zahl schenken, denn erstens ist wohl soviel sicher, dass die Wärme im leeren oder fast leeren Raume keine höhere sein kann, als man sie häufig auf der Erde selbst antrifft, und zweitens dürfte die fragliche Temperatur auch nicht allzuweit von jener Grenze entfernt bleiben, welche die neuere Thermodynamik als absoluten Nullpunkt der Temperatur bezeichnet. Diese Grenze hat aber Häussler auf — 162°, statt, wie früher, auf — 273° festgesetzt [262].

[1] Secchi, Die Sonne, deutsch von Schellen, Braunschweig 1872. S. 47 ff. — [2] Ibid. S. 51. — [3] Newcomb, Populäre Astronomie, deutsch von Engelmann, Leipzig 1881. S. 268 ff. — [4] Ibid. S. 270. — [5] Secchi, Die Sonne. S. 106. — [6] Liais, Sur l'état physique de la surface du soleil, Mém. de la soc. de Cherbourg, 1867. S. 334. — [7] Galilei, Continuazione del nuntio sidereo di Galileo Galilei Linceo, overo saggio di storia dell' ultime sue osservazioni fatte in Saturno, Marte, Venere e Sole, Bologna 1641. — [8] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 314. — [9] Scheiner. Rosa Ursina, Bracciani 1626—30. — [10] Wolf, Geschichte etc. S. 388. — [11] Ibid. S. 655. — [12] Ibid. S. 393 ff. — [13] Hausen, Theoria motus solis circa proprium axem, Lipsiae 1726. — [14] Wiedeburg. Neue Muthmassungen über Sonnenflecken. Cometen und die erste Geschichte der Erde, Gotha 1776. — [15] Wolf, Geschichte etc. S. 650. — [16] Kästner, Anfangsgründe der angewandten Mathematik, II. Theil. 2. Abtheilung, Göttingen 1791. S. 119. — [17] Secchi, Die Sonne. S. 68. — [18] Ibid. S. 53. — [19] Ibid. S. 58 ff. — [20] Ibid. S. 65. — [21] Ibid. S. 84 ff. — [22] Ibid. S. 95. — [23] Wilson, Observations of the solar spots', Phil. Transact., Vol. LXIV. S. 1 ff. — [24] Wolf. Geschichte etc. S. 650. — [25] Bode, Gedanken über die Natur der Sonne und die Entstehung ihrer Flecken, Beschäft. d. Berlinischen Gesellsch. naturf. Freunde, 2. Band. S. 237 ff. — [26] Clemens, Giordano Bruno und Nicolaus von Cusa, Bonn 1847. S. 101. — [27] Wolf, Geschichte etc. S. 651. — [28] W. Herschel, Observations tending to invest the nature of the sun, in order to find the causes or symptomes of its variable emission of light and heat, Phil. Transact., Vol. LXXXXI. S. 84 ff. — [29] A. v. Humboldt, Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung, 3. Band, Stuttgart und Augsburg 1850. S. 341 ff. — [30] J. Herschel, Outlines of astronomy, London 1875. S. 258. — [31] G. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente, Abhandl. d. k. preuss. Akad. d. Wissensch., M.-ph. Kl. 1861. S. 83 ff. — [32] Zöllner, Ueber die Periodicität und heliographische Verbreitung der Sonnenflecke, Sitzungsber.

d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., M.-ph. Kl. 1870. S. 338 ff. Ueber den Aggregatzustand der Sonnenflecke, ibid. 1873. S. 505 ff. — [33] Secchi, Die Sonne. S. 111. — [34] Reye, Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre, mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnenatmosphäre, Hannover 1872. S. 177. — [35] Zöllner, Ueber den Aggregatzustand etc. S. 522. — [36] Reye, Die Wirbelstürme etc. S. 179 ff. — [37] Faye, Cyclones solaires, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXVIII. S. 929 ff. — [38] Reye, Réponse aux remarques de M. Faye sur les trombes terrestres et solaires, ibid. tome LXXVIII. S. 59 ff. — [39] Newcomb, Pop. Astr. S. 309. — [40] Ibid. S. 312. — [41] Ibid. S. 314. — [42] Wolf, Geschichte etc. S. 394. — [43] v. Lüdingshausen-Wolff, Neue Hypothese über Sonnenflecken, Humboldt, 1. Jahrg. S. 347 ff. — [44] Kysaeus, Ueber die Axendrehung der Sonne, Siegen 1846. — [45] Böhm, Beobachtungen von Sonnenflecken und Bestimmung der Rotationselemente der Sonne, Wien 1852. — [46] Spörer, Beobachtungen von Sonnenflecken und daraus abgeleitete Elemente der Rotation der Sonne, Anclam 1862. — [47] Newcomb, Pop. Astr. S. 282. — [48] Thilo, Dissertatio de maculis solis ab ipso summo viro Soemmeringio observatis, Francofurti 1828. S. 32. — [49] Zöllner, Ueber das Rotationsgesetz der Sonne und der grossen Planeten, Sitzungsber. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., M.-ph. Kl. 1871. S. 90 ff. — [50] Carrington, Observations of the spots of the sun made at Redhill 1853—69, London 1863. — [51] Zöllner, Erwiederung auf die Bedenken des Herrn Reye gegen meine Erklärung der Sonnenflecke, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 426 ff. — [52] Spörer, Resultate aus den Sonnenbeobachtungen, Tagebl. d. 54. Versamml. d. Naturf. u. Aerzte, Salzburg 1881. 2. Abtheil., S. 43. — [53] Wolf, Geschichte etc. S. 656. — [54] Wolf, Mémoire sur la période commune à la fréquence des taches solaires et à la variation de la déclinaison magnétique, Londres 1878. S. 6. — [55] Wolf, Geschichte etc. S. 654. — [56] Wolf, Mémoire etc. S. 2. — [57] Wolf, Geschichte etc. S. 657 ff. — [58] Gautier, Recherches relatives à l'influence que le nombre et la permanence des taches observées sur le disque de soleil peuvent exercer sur les températures terrestres, Ann. de chim. et de phys. (3) tome XII., S. 57 ff. — [59] Fritz, Die Beziehungen der Sonnenflecke zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Haarlem 1878. — [60] Newcomb, Pop. Astr. S. 287. — [61] Lockyer, Die Beobachtung der Sonne sonst und jetzt, deutsch von Siebert, Braunschweig 1880. S. 484. — [62] Secchi, Die Sonne. S. 354 ff. — [63] Mädler, Geschichte der Himmelskunde von der ältesten bis auf die neueste Zeit, 2. Band, Braunschweig 1873. S. 242. — [64] Spörer, Ueber die Entstehung der Protuberanzen durch chemische Processe, Monatsber. d. k. pr. Akad. d. Wissensch., 1878. S. 755. — [65] Spörer, Beobachtungen von Protuberanzen der Sonne, ibid. 1871. S. 666 ff. — [66] Spörer, Ueber die Entstehung etc. S. 753 ff. — [67] Mädler, Populäre Astronomie, 7. Aufl., bearb. von Klinkerfues, Strassburg 1882. S. 729. — [68] Secchi, Étude des taches et des protubérances solaires de 1871 à 1875, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXX. S. 1273 ff. — [69] J. Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 173 ff. — [70] Bruhns, Alexander v. Humboldt: eine wissenschaftliche Biographie, 1. Band, Leipzig 1872. S. 45. — [71] Emsmann, Die Sonne brennt, Leipzig 1865. — [72] v. d. Gröben, Ein Versuch zur Erklärung der Periodicität der Sonnenflecke, Gaea, 18. Jahrg. S. 193 ff. — [73] Ibid. S. 198. — [74] R. Wolf, Astronomische Mittheilungen, LVI. S. 187. — [75] Duponchel, Les taches solaires régies par l'excentricité des mouvements planétaires, Paris 1882. — [76] R. Wolf, Astr. Mitth. LVI. S. 182. — [77] Ibid. S. 185. — [78] Cornelius, Ueber die Entstehung der Welt, Halle 1870. S. 30. — [79] R. Wolf, Astr. Mitth. LVII. S. 231. — [80] R. Wolf, Astr. Mitth. LVIII. S. 278 ff. — [81] A. Ritter, Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und die Constitution gasförmiger Weltkörper, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 11. Band. S. 992 ff. — [82] Ibid. S. 995. — [83] Zöllner, Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physikalische Beschaffenheit der Himmelskörper, Leipzig 1865. S. 245 ff. — [84] Newcomb, Pop. Astr. S. 310. — [85] Ibid. S. 305. — [86] Spörer, Resultate etc. S. 42. — [87] Soret, On the temperature of the sun, Philos. Mag. Vol. L. S. 155 ff. — [88] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 442 ff. — [89] Ibid. S. 444. — [90] Hegel, Dissertatio philosophica de orbitis planetarum, Jenae 1800. — [91] K. Bonnet, Betrachtung über die Natur, deutsch von Titius, Leipzig 1772. S. 7. — [92] Haase, Einige Zusammenstellungen als Beitrag zu der Frage, ob ausser Merkur und Venus in dem Raume zwischen Sonne und Erde noch andere planetenartige Körper vorhanden sind, Hannover 1864. —

[93] Kepler, Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium, Tubingae 1596. S. 7. — [94] Holetschek, Eine Preisfrage über den Asteroidengürtel, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrg. S. 427 ff. — [95] Newcomb, Pop. Astr. S. 361. — [96] D'Arrest, Ueber das System der kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter, Leipzig 1851. — [97] Newcomb, Pop. Astr. S. 383. — [98] Ibid. S. 387. — [99] Ibid. S. 393. — [100] H. Vogel, Untersuchungen über die Spektra der Planeten, Leipzig 1874. — [101] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band. S. 96. — [102] Newcomb, Pop. Astr. S. 362. — [103] R. Wolf, Astr. Mitth. LVIII. S. 285 ff. — [104] Ibid. S. 300. — [105] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 9 ff. — [106] Williams, Observations of comets from B. C. 611 to A. D. 1640, extracts from the Chinese annals, London 1871. — [107] C. Plinii Secundi historiae naturalis libri XXXVII, lib. VI, cap. 22. — [108] L. Aenaei Senecae naturalium quaestionum libri VII, cap. 22, 25, 26. — [109] Joannis de Monte regio de cometae magnitudine longitudineque ac de loco ejus vero problemata XVI, ed. Schöner, Norimbergae 1531. — [110] Günther, Peter und Philipp Apian, zwei deutsche Mathematiker und Kartographen, Prag 1882. S. 60. — [111] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 409. — [112] Ibid. S. 411. — [113] P. Petit, Dissertation sur la nature des comètes, Paris 1665. — [114] J. H. Westphal, Leben, Studien und Schriften des Astronomen Johann Hevelius, Königsberg 1820. S. 85. — [115] C. Reinhardt, Magister Georg Samuel Dörffel, ein Beitrag zur Geschichte der Astronomie im XVII. Jahrhundert, Plauen 1882. S. 44. — [116] Sir Isaak Newton's mathematische Principien der Naturlehre, deutsch von Wolfers, Berlin 1872. S. 467 ff. — [117] Olbers, Abhandlung über die leichteste und bequemste Methode, die Bahn eines Kometen aus einigen Beobachtungen zu berechnen, Weimar 1797, 2. Aufl. (bes. v. Encke) ibid. 1847. — [118] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 703. — [119] Mädler-Klinkerfues, S. 327 ff. — [120] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 566 ff. — [121] H. Vogel, Beobachtungen des Septemberkometen 1882, Astr. Nachr. N. 2466. — [122] W. Meyer, Wahrscheinliche Lichtbrechung im Kopfe des Kometen III 1881, Sirius, (2) 6. Band. S. 18. — [123] Mädler-Klinkerfues, S. 748. — [124] J. Kant's Schriften etc. S. 452. — [125] Mädler, Geschichte der Himmelskunde, 2. Band, Braunschweig 1873. S. 172. — [126] Günther, Peter und Philipp Apian, S. 61 ff. — [127] Ibid. S. 119. — [128] Kepler, De cometis libri tres, Augustae Vindelicorum 1619. — [129] Zöllner, Ueber die Natur der Cometen: Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntniss, 3. Aufl., Leipzig 1883. S. 31 ff. — [130] Geschichte der Astronomie, von den ältesten bis auf gegenwärtige Zeiten, 1. Band, Chemnitz 1792. S. 373. — [131] Westphal, Leben etc. S. 82 ff. — [132] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 1. Cyk'us, Zürich 1858. S. 138 ff. — [133] Jac. Bernoulli, Conamen novi systematis cometarum pro motu eorum sub calculum revocando et apparitionibus praedicendis, Amstelodami 1682. — [134] Newton-Wolfers, S. 487. — [135] Ibid. S. 494. — [136] Flaugergues, Examen critique de différentes hypothèses imaginées pour expliquer l'apparence connue sous le nom de queue ou chevelure des comètes, Journ. de phys., tome LXXXV. S. 173 ff. tome LXXXV. S. 193 ff. tome LXXXVI. S. 101 ff. tome LXXXVII. S. 81 ff. — [137] Piazzi, Della cometa dell' anno 1811, Palermo 1812. — [138] W. Herschel, Observations of a comet, with remarks on the constitution of its different parts, Phil. Transact., Vol. CII. S. 115 ff. — [139] Laplace, Exposition du système du monde, Paris 1796. S. 127 ff. — [140] J. W. H. Lehmann, Disquisitiones nonnullae mechanicae de origine caudarum cometarum. Gottingae 1822. — [141] De Laune, Traité et définition des comètes, Rouen 1813. — [142] Tyndall, Ueber die Wärme als eine Art der Bewegung, deutsch von Helmholtz und Wiedemann, Braunschweig 1871. S. 684 ff. — [143] Zöllner, Ueber die Natur etc. S. 1 ff. — [144] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdkunde. S. 429. — [145] Schwedoff, Idées nouvelles sur l'origine des formes cométaires, Odessa 1877. — [146] v. Dellingshausen, Prof. Th. Schwedoff's neue Theorie über den Ursprung der Kometenformen, Kosmos, 3. Band. S. 297 ff. — [147] Schwedoff, Théorie mathématique des formes cométaires. Odessa 1879. — [148] v. Dellingshausen, Das Räthsel der Gravitation, Heidelberg 1880. S. 167. — [149] Ibid. S. 170. — [150] Zenker, Ueber die physikalischen Verhältnisse und die Entwickelung der Kometen, Berlin 1872. S. 17. — [151] Ibid. S. 21. — [152] Ibid. S. 31. — [153] v. Miller-Hauenfels, Die Gesetze der Kometen abgeleitet aus dem Gravitationsgesetze, Graz 1875. S. 7. — [154] Ibid. S. 50. — [155] Ibid. S. 72 ff. — [156] Heinsius, Beschreibung des im Jahre 1744 erschienenen Co-

meten, St. Petersburg 1744. — [157] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 228 ff. — [158] Zöllner, Ueber die Natur etc. S. XCII ff. — [159] Olbers, Ueber den Schweif des grossen Kometen von 1811, Bode's astr. Jahrb. f. 1826. — [160] Bessel, Beobachtungen über die physische Beschaffenheit des Halley'schen Kometen und dadurch veranlasste Bemerkungen, ibid. 1836. — [161] Zenker, Ueber etc. S. 15. S. 76. — [162] Zöllner, Ueber die physische Beschaffenheit der Cometen, Sirius, 9. Band. S. 227 ff. S. 265 ff. — [163] Hornstein, Ueber den Einfluss der Elektricität der Sonne auf den Barometerstand, Wien 1872. — [164] Zöllner, Das Skalenphotometer, ein neues Instrument zur mechanischen Messung des Lichtes, Leipzig 1879. S. 69. — [165] Bredichin, Sur la constitution probable des queues des comètes, Moscou 1879. — [166] Bredichin, Sur la queue du I. type de la comète 1882 II, Astron. Nachr. Nr. 2532. — [167] v. Dalberg, Ueber den Meteoritenkultus der Alten, vorzüglich in Bezug auf Steine, die vom Himmel gefallen sind, Heidelberg 1811. — [168] Peschel-Leipoldt, Phys. Erk. S. 107. — [169] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 621. — [170] Ibid. S. 623. — [171] H. J. Klein, Handbuch der allgemeinen Weltbeschreibung, vom Standpunkt der kosmischen Weltanschauung, 1. Band, Braunschweig 1869. S. 263 ff. — [172] Chladni, Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ähnlicher Eisenmassen, Leipzig 1794. — [173] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 611. — [174] G. Rose, Beschreibung und Eintheilung der Meteorite, Abh. d. k. pr. Akad. der Wissensch., M.-ph. Kl. 1863. S. 23 ff. — [175] H. J. Klein, Handbuch etc. 1 Band. S. 288 ff. — [176] Wright, Examen des gaz extraits de la météorite du 12. Février 1875, Mondes (2) XXXVIII. S. 530. — [177] Gümbel, Ueber die in Bayern gefundenen Steinmeteoriten, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 1881. S. 14 ff. — [178] L. Smith, Ueber den Magnetismus des aus Meteoreisen dargestellten Oxydes, Naturforscher, 1875. S. 135. — [179] Flammarion, Astronomie populaire, Paris 1880. S. 659. — [180] L. Smith, Meteoreisen von Havard, Ausland 1874. S. 60. — [181] v. Schreibers, Beiträge zur Geschichte und Kenntniss der meteorischen Stein- und Metallmassen. Wien 1820. S. 70. — [182] Brezina, Meteoritenstudien, 2. Abtheilung. Wien 1882. — [183] H. J. Klein, Handbuch etc., 1. Band. S. 287. — [184] C. Reinhardt, Magister etc. S. 58 ff. — [185] Brandes-Benzenberg, Versuche, die Entfernung, die Geschwindigkeit und die Bahnen der Sternschnuppen zu bestimmen, Hamburg 1800. — [186] Lehmann-Filhès, Ueber die Bestimmung des Radiationspunktes eines Sternschnuppenschwarmes mit Hülfe eines neuen Meteoroskopes, Astr. Nachr. N. 2296. — [187] Heis, Die grosse Feuerkugel, welche am Abende des 4. März 1863 in Holland, Deutschland, Belgien, England gesehen worden ist, Wochenschr. f. Astron., Meteorol. u. Geogr., (2) 6. Jahrgang. S. 137 ff. S. 145 ff. S. 156 ff. S. 172 ff. S. 180 ff. S. 185 ff. S. 193 ff. S. 204 ff. S. 236 ff. S. 240 ff. — [188] Schiaparelli, Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen, deutsch von G. v. Boguslawski, Stettin 1871. — [189] Bruhns, A. v. Humboldt, 3. Band. S. 14 ff. — [190] Newcomb, Popul. Astron. S. 435. — [191] E. Weiss, Recension zu Schiaparelli, Vierteljahrsschr. d. astr. Gesellsch., 7. Jahrgang. S. 294 ff. — [192] Secchi, Die Sonne. S. 754. — [193] Vgl. [137]. — [194] Chladni, Ueber Dinge, die sich im Weltraume befinden, und von den bekannten Weltkörpern verschieden sind, und über noch einige kosmologische Merkwürdigkeiten, Zeitschr. f. Astr. u. verw. Wissensch., 4. Band. S. 353 ff. — [195] Lehmann-Filhès, Ueber die Vertheilung der Radiationspunkte an der Himmelskugel, Astr. Nachr. N. 2327 ff. — [196] E. Weiss, Recension etc. S. 296. — [197] Terzago, Musaeum Septalianum, Tortonae 1664. S. 44. — [198] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 400 ff. — [199] Ibid. S. 403. — [200] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 20. — [201] Redhouse, On the natural phaenomenon, known in the east by the names Sub-hi-Kazib, Journal of the royal asiatic society, (2) Vol. X. S. 344 ff. — [202] Redhouse, Identification of the false down of the Muslims with the Zodiacal light of the Europeens, ibid. (2) Vol. XII. S. 327 ff. — [203] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, S. 145. — [204] Delambre, Histoire de l'astronomie moderne, tome II., Paris 1821. S. 742. — [205] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 409 ff. — [206] R. Wolf, Gesch. d. Astron. S. 693. — [207] Childrey, Britannia Baconica, Londini 1661. S. 183. — [208] J. C. Fischer, Geschichte der Naturlehre, 2. Band, Göttingen 1802. S. 527. — [209] D. Cassini, Découverte de la lumière céleste qui paroist dans le zodiaque, Paris 1685. — [210] Fatio de Duiller, Lettre à M. Cassini sur une lumière extraordinaire qui paroît dans le ciel depuis quelques années, Amsterdam 1686. — [211] R. Wolf, Biogr. etc.,

4. Cyklus, Zürich 1862. S. 69 ff. — [212] Mairan, Traité physique et historique de l'aurore boréale, Paris 1733. — [213] A. E. Schön, Bemerkungen über das Zodiakallicht, über Uranus, über Algol und über einige veränderliche Sterne im Schützen, Bode's astron. Jahrb. f. 1789. — [214] Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Auflage, 10. Band. 3. Abtheilung, Leipzig 1844. S. 2420. S. 2444 ff. — [215] Das Zodiakallicht, Wochenschr. f. Astron., Meteorol. u. Geogr., (2) 6. Jahrgang. S. 105 ff. — [216] Heis, Beobachtungen, deren Anstellung den Mitgliedern der Expedition zur Beobachtung des Durchganges der Venus anempfohlen wird, Gaea, 10. Jahrgang. S. 487 ff. — [217] Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, Berlin 1875. S. 50 ff. — [218] Neumayer, Correspondenznachrichten aus Australien, Wochenschr. f. Astron., Meteorol. u. Geogr., (2) 6. Jahrgang. S. 247. — [219] Heis, Zodiakallichtbeobachtungen aus den letzten 29 Jahren. 1847—1875, Münster 1875. — [220] Houzeau, Résumé de quelques observations astronomiques et météorologiques faites dans la zone surtempérée et entre les tropiques, Bruxelles 1875. — [221] Jones, United States Japan Expedition; Observation of the Zodiacallight, Washington 1856. — [222] Holetschek, Das Zodiakallicht, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 226 ff. — [223] Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae, Augustae Vindelicorum 1760. S. 449. — [224] v. Mechow, Bericht über die von ihm geführte Expedition zur Aufklärung des Kuango-Stromes, Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 9. Band. S. 479. — [225] Rohlfs, Die Oase Djofra, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 15. Band. S. 143. — [226] Heis, Beobachtungen etc. S. 489. — [227] Ibid. S. 490. — [228] Apparenze straordinarie della luce zodiacale la sera del 12 dicembre 1873, Lettere del Prof. Alessandro Serpieri al Prof. G. V. Schiaparelli, Milano 1874. — [229] Neumayer, Anleitung etc. S. 52. — [230] Wright, On the nature of the Zodiacal light and the distribution of matter, which occasions it, Nature X. S. 443 ff. — [231] Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsala 1868. — [232] Roscoe, Die Spektralanalyse in einer Reihe von sechs Vorlesungen, deutsch von v. Schorlemmer, Braunschweig 1870. S. 180. — [233] Houzeau, Sur certains phénomènes énigmatiques de l'astronomie, Bull. de la soc. royale belgique, (2) tome XLVI. S. 951 ff. — [234] Gehler's phys. Wörterb., 2. Auflage, 10. Band, 3. Abtheilung. S. 2428. — [235] H. J. Klein, Handbuch etc., 1. Band. S. 53. — [236] I. Kant's Schriften etc. S. 148 ff. — [237] Mädler, Gesch. d. Himmelsk., 2. Band. S. 289 ff. — [238] Houzeau, Résumé etc. S. 280 ff. — [239] Suchsland, Das Zodiakallicht eine Folge des Baues unseres Planetensystemes, Stolp 1882. — [240] L. Euler, Recherches physiques sur la cause de la queue des comètes, de la lumière boréale et de la lumière zodiacale, Mém. de l'acad. royale de Berlin, Année 1746. S. 117 ff. — [241] Geelmuyden, Om Zodiakallyset, Arch. f. Math. og Naturvidensk., III. S. 250 ff. — [242] Günther, Studien zur theoretischen Photometrie, Erlangen 1872. S. 32 ff. — [243] Vgl. [194]. — [244] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 412 ff. — [245] Nordenskiöld, Ueber kosmischen Staub, der mit atmosphärischen Niederschlägen auf die Erde herabfällt, Ann. d. Phys. u. Chem., 151. Band. S. 154 ff. — [246] Loys de Cheseaux, Traité de la comète qui a paru en décembre 1743 et en janvier 1744. et diverses observations astronomiques, Lausanne 1744. — [247] Halley, On the infinity of the sphere of fixed stars, Phil. Trans. Vol. XXI. S. 22 ff. — [248] Olbers, Ueber die Durchsichtigkeit des Weltraumes, Bode's astr. Jahrb. f. 1826. — [249] Struve, Études d'astronomie stellaire, St. Pétersbourg 1847. S. 93 ff. — [250] Roscoe- v. Schorlemmer, S. 246. — [251] R. Wolf, Gesch. d. Astron. S. 715. — [252] v. Asten, Ueber die Existenz eines widerstehenden Mittels im Weltraum, Gaea, 11. Jahrgang. S. 41 ff. — [253] Backlund, zur Theorie des Encke'schen Kometen, St. Petersburg 1881. — [254] Emsmann, Der leere Raum, ein Leiter der Elektricität. Gaea, 19. Jahrgang. S. 159 ff. — [255] H. J. Klein, Handbuch etc., 2. Band. S. 11. — [256] Meibauer, Die physische Beschaffenheit des Sonnensystemes, Berlin 1872. S. 58 ff. — [257] Fourier, Théorie analytique de la chaleur, Paris 1822. S. X ff. — [258] Poisson, Théorie mathématique de la chaleur, Paris 1835. S. 436 ff. S. 521 ff. — [259] Saigey, Petite physique du globe, Paris 1842. S. 77. — [260] Pouillet, Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'atmosphère et sur la température de l'espace, Compt. rend. de l'acad. franç., tome VII. S. 25 ff. — [261] Svanberg, Disquisitiones analyticae in theoriam refractionum astronomicarum, Upsalae 1827. — [262] Häussler, Beiträge zur mechanischen Wärmetheorie, Leipzig 1882.

Kapitel III.

Die der Erde ähnlichen Planeten und der Mond.

§. 1. **Die astronomischen Nachbarn der Erde.** Als solche kann man gewiss mit Recht die Planeten Venus und Mars bezeichnen, zwischen welchen die Erde ihren Umlauf um die Sonne vollzieht, sowie den unzertrennlichen Begleiter der Erde, den Mond. Die Sternkunde als solche hat keinerlei Veranlassung, gerade diese Nachbarkörper für sich und aus dem allgemeinen Zusammenhange losgelöst zu betrachten, allein um so mehr Grund, diess zu thun, ist für denjenigen vorhanden, der sich auf dem Grenzgebiete zwischen astronomischer und physikalischer Geographie bewegt. Sowohl die Venus als der Mars sind uns nahe genug, um durch gute Teleskope ihre Oberflächenbeschaffenheit und ihre atmosphärischen Verhältnisse erforschen und dadurch Anhaltspunkte für eine ganz neue Art von vergleichender Erdkunde gewinnen zu können, umsomehr, als der Allgemeincharakter für alle drei Planeten so ziemlich derselbe ist. Was den Mond anlangt, so sind die physikalischen Verhältnisse desselben von jenen unserer Erde allerdings ziemlich verschieden, allein erstens ist dieser Gegensatz für die physische Erdkunde an sich schon interessant, und zweitens wird er es noch mehr, wenn man in Erwägung zieht, dass in naturgemässer Konsequenz der Kant-Laplace'schen Theorie der kleine Mond heute schon einem Schicksal verfallen ist, welchem wir die weit grössere Erde erst allmählig entgegengehen sehen.

§. 2. **Die Venus.** Nach den von Newcomb [1] mitgetheilten und zur Zeit wohl aus keinem astronomischen Werke zuverlässiger zu entnehmenden Daten beträgt der mittlere Abstand der Venus von der Sonne 108000000 km; ihr Durchmesser dürfte höchstens 100 km kleiner sein, als derjenige unseres Planeten. Bekannt ist, dass Venus je nach der Jahreszeit als Morgenstern (Phosphorus) oder als Abendstern (Hesperus) auftritt, und es mag wohl richtig sein, dass man in grauer Vorzeit diese Erscheinungen auf zwei verschiedene Sterne bezogen habe, doch stimmen wir Wolf [2] bei, wenn er annimmt, dass schwerlich erst Pythagoras die Identität derselben erkannt haben dürfte. Die Venusbahn hat die geringste Excentricität unter allen Planetenbahnen, und zwar beträgt die siderische Umlaufszeit $224^d\,16^h\,49'\,7''$, die tropische $224^d\,16^h\,41'\,25''$, weshalb das Venusjahr zum Erdenjahr sich nahe wie 5 : 8 verhält [3]. Die verschiedenen Stellungen des Planeten gegenüber der Sonne, von welcher er sein Licht empfängt, und dem Auge eines Beobachters auf der Erde bedingen es, dass wir nicht stets die vollbeleuchtete Scheibe, sondern nur Theile derselben wahrnehmen; diese Phasen hatte zuerst Galilei bemerkt und durch einen anagrammatisch verstellten Hexameter dem Publikum bekannt gegeben [4] („Cynthiae figuras aemulatur mater amorum“). Aehnliche Lichtgestalten beobachtet man bekanntlich auch am Mond und Merkur, und der Theorie zufolge fehlen sie auch nicht den oberen Planeten, obwohl sie an diesen der Wahrnehmung sich fast gänzlich entziehen. Angesichts des Umstandes, dass die Licht-

menge, welche der überhaupt sichtbare Theil der Venuskugel-Kalotte, welche von der Sonne direkt erleuchtet wird, uns Erdenbewohnern zusendet, von einer ganzen Anzahl von Faktoren abhängt, nämlich von den variablen Entfernungen der Venus von Sonne und Erde, von dem ebenfalls variablen Incidenzwinkel u. s. w., ist es nicht verwunderlich, dass die Bestimmung des Zeitpunktes, zu welchem Venus in ihrer grössten Helligkeit erscheint, ein ziemlich verwickeltes Problem der höheren Analysis involvirt. Die beste Formel zur Berechnung dieses Momentes hat J. J. v. Littrow gegeben [5]; nach ihr richten sich auch die Herausgeber des englischen „Nautical Almanac". Photometrische Bestimmungen des Venuslichtes haben mit der Schwierigkeit zu kämpfen, dass wir die beiden unteren Planeten zur Zeit ihrer Opposition niemals vor Augen haben. Auch die helle Lichtstrahlung der Venus erwies sich, als Seidel seine berühmte Beobachtungsreihe anstellte, als ein bedeutendes Hinderniss [6], und erst mit Zöllner's verbessertem Polarisationsphotometer konnte der Logarithmus des mittleren Helligkeitsverhältnisses, in welchem unser Planet zu dem Fixstern Capella steht, ungefähr auf 1,6 festgesetzt werden [7]. Was die Masse der Venus anlangt, so ist dieselbe nur um sehr wenig (etwa $^1/_{23}$) kleiner als diejenige der Erde, und da auch die Durchmesser beider Weltkörper so sehr nahe mit einander übereinstimmen, so folgt, dass nach bekannten Gesetzen der Mechanik auch die Dichte, die Fallhöhen, die Längen des Sekundenpendels u. s. w. nicht viel von einander abweichen können [8]. Es tritt also jetzt schon eine unverkennbare Aehnlichkeit zu Tage.

Ganz ebenso offenbart sich dieselbe in den Tageslängen. Bianchini hatte freilich aus der Bewegung einzelner Flecke, die er an der Oberfläche der Venus aufgefunden zu haben glaubte, auf eine Rotationsdauer von $24^d\ 8^h$ geschlossen [9], und Flaugergues war auf seine Seite getreten, allein schon die längere Zeit hindurch fortgesetzten Beobachtungen Dominic und Jacques Cassini's liessen sich mit dieser auffälligen Angabe nicht in Einklang bringen. Da die Methode Bianchini's keine sicheren Schlüsse gestattete, untersuchte der eifrigste Vertreter der topographischen Astronomie während des verflossenen Jahrhunderts, Schröter in Lilienthal, die rhythmisch wiederkehrenden Aenderungen der Sichelgestalt und zog daraus eine Drehungsperiode von $23^h\ 21'$, nahe übereinstimmend mit dem Werthe der Cassini's [10]. Endlich erhielt die Frage ihren vorläufigen Abschluss durch De Vico, dessen Bestimmung dieses wichtigen astronomischen Elementes als entscheidend angesehen werden darf; ihm zufolge beträgt der Venustag [11] $23^h\ 21'\ 22''$, so dass also dem Erdentage gegenüber nur die unwesentliche Differenz von etwa 39 Minuten übrig bleibt.

Der Anhänger der Nebulartheorie wird, nachdem es jetzt feststeht, dass die Abkühlungs- und Erstarrungszustände für Venus und Erde so ziemlich die gleichen sind, von vorn herein erwarten müssen, dass erstere auch von einer Atmosphäre umgeben sein wird. Schon Rittenhouse hatte diess aus der von ihm bei Gelegenheit des Venusdurchganges von 1769 festgestellten Thatsache erschlossen, dass die gerade noch ausserhalb der Sonnenscheibe befindliche Halbscheibe der Venus bereits in schwacher Beleuchtung sichtbar war. Safarik hat

[12] mit ungemeinem Fleisse 22 beglaubigte Zeugnisse von zuverlässigen Astronomen zusammengebracht, welche sämmtlich den von der Sonne nicht unmittelbar beleuchteten Theil der uns zugewandten Venuskugel in einem mehr oder minder hellen („phosphorescirenden") Lichte erblickt haben und Winnecke hat dieses Material noch dadurch vermehrt, dass er auf sechs Beobachtungen der Astronomen des Collegio Romano aufmerksam machte [13], die sämmtlich dem Jahre 1841 entstammen. Mädler sieht in dem Phänomen das Produkt einer nur unter ganz ungewöhnlichen Umständen an der Oberfläche des Planeten hervortretenden Lichtentwickelung, und Klinkerfues meint [14]: „Lebhafte Nordlichter auf der Venus könnten sehr gut eine solche Erscheinung bewirken." Wie dem auch sei, das Vorhandensein einer die Dämmerungserscheinungen begünstigenden Lufthülle erscheint gesichert, mag man nun als erste Ursache des Lichtes ein Polarlicht oder andere uns unbekannte Dinge anerkennen. Safarik lässt uns in diesem Punkte die Wahl zwischen nicht weniger als acht Hypothesen, die freilich nicht alle auf gleicher Wahrscheinlichkeitsstufe stehen, wie uns denn namentlich die Möglichkeit einer blos subjektiven Kontrastwirkung gar nicht einleuchten will. Eine sehr merkwürdige Abart des Phänomenes ist die von Lyman [15] beschriebene: sowohl 1866, als auch 1874 erweiterte sich bei der unteren Konjunktion der Venus deren Sichel zu einem feinen Lichtringe, der auch bei dem im letztgenannten Jahre stattgehabten Vorübergang vor der Sonne sich bereits fünf Stunden vor der ersten Berührung wieder einstellte. Lyman denkt dabei an die Horizontalrefraktion innerhalb der Venusatmosphäre, welche von Mädler mittelst Messung der Distanz der Sichelspitzen auf 43,7' geschätzt worden war*); er selbst berechnet den Betrag dieser Strahlenbrechung zu 44,5' — ungefähr um den vierten Theil mehr als in der Lufthülle der Erde.

Schröter glaubte auf der Venus verschiedene hohe Berge zu erkennen und unternahm es sogar, für einzelne derselben die relative Höhe (Vertikalabstand von den sie umgebenden Partieen) zu messen. Auf Tafel VIII des zweiten seiner bekannten Werke über die Venus [17] kann man eine vergleichende Liste über die Berghöhen auf diesem Planeten, auf dem Mond und auf der Erde finden, und zwar enthält dieselbe für die erstgenannte Kategorie Werthe von 6500, 9000, 9500, 16 000 und 22 300 (!) altfranzösischen Toisen. Neuere Beobachtungen und Messungen dieser Art fehlen aus leicht begreiflichen Gründen, und auch mit Schröter's Kettengebirgen von 200 Meilen Länge scheint es nicht sehr sicher bestellt zu sein. Betrachtungen, wie sie Littrow, auf Schröter's Aussagen sich stützend, über gewisse Analogieen zwischen Erde und Venus anstellt**), haben deshalb kaum

---

*) Neison hat jüngst in den Untersuchungen Mädler's über die Refraktion der Venus einen das Resultat beeinträchtigenden Rechnungsfehler entdeckt [16].

**) „Es ist auffallend, dass bei allen Planeten, die wir in dieser Beziehung näher untersuchen können, die südliche Hemisphäre immer auch die gebirgigere und die kältere ist, so dass Süd und Nord in unserem Weltsysteme nicht blos eine rein mathematische Unterscheidung begründen, sondern auch in ihren physischen Eigenschaften wesentlich von einander verschieden zu sein scheinen, etwa wie bei dem Magnetismus der Erde, was auch Franklin schon behauptet hat" [18]. Mit dem gebirgigen Charakter hat es, wie wir oben sahen, seine eigene Bewandt-

einen wirklichen Werth, so wichtig auch andererseits der Nachweis reeller Aehnlichkeiten für den einer kosmologischen Betrachtungsweise zugänglichen Geographen ist.

Von einem Venusmonde ist im Verlaufe des XVIII. Jahrhunderts sehr viel gesprochen und noch mehr gefabelt worden. Die älteren Nachrichten über dieses mythische astronomische Objekt sind sehr zerstreut und schwer vergleichbar, und es ist deshalb nur mit Dank anzuerkennen, dass durch die bekannte Monographie von Schorr [19] eine ernsthafte Prüfung dieser immer wieder auftauchenden Frage ermöglicht wurde. Direkt gesehen haben einen Stern, den sie für den Trabanten hielten, Fontana, D. Cassini, Short (?) und Montaigne, während De la Hire, Bianchini und Bode von festbegrenzten Flecken erzählen, die allenfalls auf den vor der Venusscheibe dahinziehenden Mond gedeutet werden könnten. Versuchte doch Lambert schon Tafeln für den — mit dem Namen D'Alembert zu belegenden — neuen Himmelskörper zu berechnen. Wenn nun auch Schorr der Ansicht ist, an der Existenz eines Venusmondes von etwa 12,17 tägiger Umlaufszeit dürfe man noch nicht völlig zweifeln, so sprechen doch weit überwiegende Gründe für Newcomb's Meinung, derselbe sei überhaupt nicht vorhanden. Dieser grosse Kenner der praktischen Sternkunde erörtert mit Scharfsinn die Möglichkeit, dass die genannten Beobachter einer optischen Täuschung (den falschen Reflexionsbildern oder „ghosts") zum Opfer gefallen sein möchten [20]. In diesem Sinne hatten früher schon Hell und Wargentin sich vernehmen lassen [21].

§. 3. **Mars und seine Monde.** In einer ziemlich langgestreckten Ellipse bewegt sich Mars um die Sonne, so dass seine Apheldistanz (248000000 km) die Periheldistanz (206000000 km) um 42000000 km übertrifft. Der Durchmesser der Planetenkugel beträgt wenig mehr als 6700 km, und zwar scheint von einer Abplattung gänzlich abgesehen werden zu müssen, obwohl Adams und Tissandier auf theoretischem Wege einen durch wirkliche Beobachtung kaum zu kontrolirenden Werth ($^1/_{200}$) dafür ausgemittelt haben wollen [22]. Hartwig, der alle älteren Messungen von Bessel, F. Kaiser, Encke, Galle, J. Schmidt, Secchi, Pritchett u. a. einer sehr sorgfältigen Musterung unterworfen hat, erwähnt, dass auch Arago als Vertheidiger der Existenz einer messbaren Abplattung aufgetreten sei [23], und er selbst kann nicht umhin, auf Grund einer mit allen Kautelen moderner Beobachtungskunst durchgeführten Beobachtungsreihe eine Differenz zwischen dem äquatorialen und polaren Diameter zu stipuliren [24]. Dieselbe ist freilich in keinem Falle so gross, dass es sich verlohnen könnte, über die Frage nachzudenken, ob die Ellipticität des Planeten besser mit der Annahme eines früher flüssigen Zustandes oder mit der einer Oberflächenerosion sich vertrage, wie diess Hennessy [25] gethan hat. Die Umlaufsdauer beträgt 687 Tage, die synodische Umlaufszeit, nach deren Ablauf die Oppositionen des Planeten wiederkehren, 737 Tage. Kein anderer Himmelskörper ist so starken Schwankungen

---

niss, und auch der klimatische Unterschied zwischen den beiden Halbkugeln der Erde stellt sich neuerdings in einem ganz anderen Lichte dar, als zu Littrow's Zeit.

seiner Lichtstärke unterworfen, wie Mars (falls nicht etwa von den eigentlichen veränderlichen Sternen die Rede sein sollte); am hellsten leuchtet er, wenn die Zeit der Opposition mit der Zeit des Durchganges sich annähernd deckt, und so danken denn auch die Entdeckungen Hall's und Schiaparelli's der besonders günstigen Opposition vom September 1877 ihr Zustandekommen [26]. Der Logarithmus des Verhältnisses der Lichtintensität des Mars (mittlere Oppositionen angenommen) zur Lichtintensität der Capella ist nach Zöllner [27] gleich 0.9016. Setzt man die Lichtmenge, welche unsere Erde von der Sonne erhält, = 1, so entsprechen dem Mars die Lichtmengen 0,36; 0,43; 0,52, je nachdem seine Entfernung vom Centralkörper ihren kleinsten, mittleren oder grössten Werth annimmt. Die Dichte verhält sich zu der der Erde etwa wie 18 : 25, allein da der Planet selbst beträchtlich kleiner als jene ist, so sind Schwerkraft, Fallhöhen und Pendellängen daselbst höchstens halb so gross, als wir dieselben kennen [28].

„Ausser der Erde,“ sagt Newcomb [29], „ist Mars der einzige Planet, dessen Rotationsdauer wir mit vollkommener Schärfe, durch die Unveränderlichkeit vieler Flecken, bestimmen können. Zwei Jahrhunderte alte Zeichnungen von Huygens weisen Stellen auf, die wir noch jetzt erkennen können; theils aus der Vergleichung dieser, theils aus der späterer mit neueren Darstellungen haben Kaiser und Schmidt die Umdrehungszeit zu $24^h\ 37'\ 22'',6$ gefunden, welche bis auf wenige Hundertel der Sekunde genau sein wird.“ Auch im natürlichen Zeitmaasse gleicht sonach der Mars der Erde fast vollkommen, dafür aber ist auf ersterem die Ungleichheit von Tag und Nacht eine schärfer markirte [30], und die starke Excentricität der Bahnellipse macht sich für die beiden Hälften des Planeten in der Weise fühlbar, dass auf der Nordhalbkugel mehr ein Seeklima, auf der Südhalbkugel mehr ein kontinentales Klima (terrestrisch gesprochen) zur Herrschaft gelangen muss.

Der Mangel eines Mondes bei einem der Erde sonst in so vielen Beziehungen ähnelnden Himmelskörper war von manchen Freunden teleologischer Weltbetrachtung mehrfach schon als etwas Auffälliges vermerkt worden. Kepler, dem es (vgl. Kap. II. §. 9) durchaus nicht auf die Kreirung neuer Gestirne nach theoretischen Motiven ankam, theilte dem Mars zwei Begleiter zu, und zwei Satyriker des XVIII. Jahrhunderts, Swift und Voltaire, suchten sich, wie Hall in der seiner klassischen Entdeckungsschrift [31] angehängten geschichtlichen Skizze erwähnt [32], dadurch an den Gelehrten ihres Zeitalters zu reiben, dass sie den Astronomen entfernter Weltkörper die Entdeckung zweier Marsmonde zuschrieben, von denen deren irdische Kollegen gar keine Ahnung hätten. Der Kapuziner Schyrlaeus de Rheita glaubte dergleichen Monde auch wirklich entdeckt zu haben [33]. Nachdem jedoch W. Herschel die Umgebung des Mars plangemäss abgesucht und doch nicht den mindesten Erfolg dabei erzielt hatte, schienen weitere Bemühungen nicht mehr am Platze zu sein, und nur der vorsichtige D'Arrest theilte den allgemeinen Glauben nicht, indem er sich auf die Bemerkung beschränkte, dass allfallsige Marsmonde nur in der nächsten Nähe des Planeten zu suchen wären [34]. Die Ueberraschung war nichtsdestoweniger gross, als man in

Europa (1877) von der glücklichen Entdeckung zweier Marstrabanten durch Assaph Hall in Washington [35] erfuhr; kein volles Jahr darauf publicirte derselbe die uns bereits bekannte Schrift, welche nicht nur über den Hergang der Entdeckung nähere Mittheilungen brachte, sondern auch die Ephemeriden der neuen Wandelsterne und deren Bahnelemente in einer Vollständigkeit enthielt, dass durch spätere Forschungen an diesen vorläufigen Ergebnissen nicht mehr viel geändert zu werden brauchte. Beide Monde, denen die Namen Phobos und Deimos beigelegt sind, erscheinen als Sterne zwölfter Grösse, allein nur der äussere (Deimos) ist leidlich gut sichtbar, da sein Gefährte gar zu wenig aus den Sonnenstrahlen heraustritt. Die Entfernungen der beiden Monde vom Marscentrum betragen resp. 9300 und 23000 km; ihre Umläufe vollziehen sie in $7^h\ 39'$ und $30^h\ 18'$, so dass der äussere ziemlich genau das Vierfache der Umlaufszeit des inneren Mondes braucht. Es scheint hierin ein für die Satelliten sämmtlicher Planeten gültiges Gesetz zum Ausdrucke zu kommen [36]. Trotz ihrer Kleinheit — Pickering berechnete die Grösse der Durchmesser photometrisch auf 10 km — mögen diese Monde immerhin auf die Wasserbedeckung des Hauptplaneten einen starken attraktiven Einfluss ausüben, da bekanntlich die Gravitationswirkung in erheblicherem (quadratischem) Maasse durch die Distanz, als durch die Masse bedingt ist.

§. 4. **Geschichte der physischen Marsforschung.** Es liegt auf der Hand, dass hier nur ein ganz kurzer Abriss dieser Geschichte gegeben werden kann, denn das zu bewältigende Material ist ein viel zu massenhaftes; Houzeau's Zusammenstellung aller Arbeiten, die sich mit der Oberflächenbeschaffenheit des Mars und mit seiner Lufthülle beschäftigen, umfasst nicht weniger als 213 Nummern [37]. Einen kurzen Bericht über den Stand der Frage hat Terby, selbst einer der fleissigsten Arbeiter auf diesem Gebiete, im Jahre 1875 geliefert [38]. Damals existirten 1092 Marszeichnungen, deren erste Fontana und Huygens anfertigten; von dem letzteren besitzt man noch jetzt 13 feine Federzeichnungen (ausgeführt in dem Zeitraume 1659—95), und ihm gebührt (vgl. den vorigen Paragraph) das Verdienst, die Form gewisser ausgezeichneter Flecke ein für allemal richtig bestimmt zu haben. Aus der frühesten Zeit sind noch Zucchi (um 1640) und Maraldi (um 1716) als fleissige Marsbeobachter zu nennen [39]*). Dann trat der rastlose Schröter auf den Plan, der 217 Skizzen entwarf und dieselben für ein umfassendes Werk zu verwerthen gedachte, das jedoch damals nicht zu Stande kam; die Manuskripte wurden erst durch Terby der Vergessenheit entrissen und 1873 der Akademie in Brüssel vorgelegt, und der niederländische Astronom Van de Sande Bakhuizen war so glücklich, das von Terby entdeckte Manuskript für die Sternwarte Leyden erwerben und herausgeben zu können [41]. Da Schröter sich nicht von der Ansicht trennen konnte, dass die

---

*) Wundern muss man sich, dass Hevelius [40] so oberflächlich vom Mars handelt. Er schrieb ihm zwar eine Atmosphäre zu, aber nicht auf Grund von Autopsie, sondern blos seiner sonderbaren Kometentheorie (Kap. II. §. 11) zuliebe.

Marsflecken einen rein atmosphärischen Ursprung besässen, so sind seine Zeichnungen und die daran geknüpften Erörterungen mehr blos von historischem, als von sachlich bleibendem Werthe. Unter den neueren Astronomen haben sich Herschel, Arago, Secchi, Nasmith, Lord Rosse, Dawes, Fergola, Browning, Holden, v. Konkoly und viele andere um die schärfere Festsetzung vieler Einzelheiten verdient gemacht: auch von dem unermüdlichen Jul. Schmidt sind noch 67 unedirte Aufnahmen vorhanden. In grösserem Style aber förderten das Marsstudium Beer und Mädler [42], Linsser [43] und Kaiser [44]. Proctor wagte es zuerst, eine Landkarte der Marsoberfläche zu verzeichnen [45], und zwar in cylindrischer Projektion. Selbstverständlich galt es erst, eine areographische Nomenklatur zu schaffen; Terby gieng von der Ansicht aus, dass die einzelnen Gegenden nach Astronomen zu benennen seien, deren Arbeiten ihnen ein Recht verliehen, gerade auf dem Mars sich verewigt zu sehen. So zerfällt ihm zufolge das ganze Areal in sechs Hauptregionen: Kaiser-Meer und Dawes-Ocean, Herschel-Enge, De la Rue-Ocean, Hooke- und Maraldi-Meer, Tycho- und Delambre-Meer, Beer- und Airy-Meer. Hiezu kommt dann noch ein Lockyer-Meer, auf dem man — nach Terby mit Unrecht — sturmartige Bewegungen beobachtet haben wollte, und ein Oudemans-Pass. Terby erkannte die Unvollkommenheit des bisherigen areographischen Wissens an, wies aber darauf hin, dass die nächsten Oppositionen die beste Gelegenheit zur Vervollständigung unserer Kenntnisse bieten würden.

Diese Hoffnung ist denn auch in Erfüllung gegangen. Denn nachdem Schiaparelli vom 12. September 1877 bis zum April 1878 unausgesetzt mit einem Merz'schen Refraktor von 322- resp. 468maliger Vergrösserung den Mars beobachtet hatte, war er im Stande, der Accademia dei Lincei ein Werk [46] über denselben vorzulegen, welches wohl als ein abschliessendes bezeichnet werden darf. Wir gedenken im Folgenden unseren Lesern eine Uebersicht der wichtigeren von ihm erhaltenen Resultate vorzulegen, indem wir uns dabei zugleich auf die von drei deutschen Astronomen, Remeis [47], Böddiker [48] und Holetschek [49] veranstalteten Auszüge beziehen — namentlich auf den letzterwähnten, der durch seine Vollständigkeit ausgezeichnet ist. Wir werden dabei die Ueberzeugung gewinnen, dass das, was R. Wolf [50] über die Beziehungen zwischen den älteren Untersuchungen Herschel's und jenen der neuesten Zeit bemerkt*), auf voller Wahrheit beruht.

§. 5. **Oberflächenbeschaffenheit und Atmosphäre des Mars nach Schiaparelli.** Die erste Aufgabe Schiaparelli's war eine möglichst genaue Bestimmung der Umdrehungsaxe des Mars, wozu der den früheren Marsforschern bereits wohlbekannte südliche Polarfleck

*) „Als sodann Herschel mit der ihm eigenen Umsicht und Ausdauer diesen Planeten verfolgte, konnte er 1784 in der Abhandlung „On the remarkable appearances at the polar regions of the planet Mars" mit aller Evidenz nachweisen, dass die Polarflecke den Jahreszeiten des Mars konform sind, und dass überhaupt Mars eine Atmosphäre, Wasser, ja nach allen Richtungen der Erde entsprechende klimatische Verhältnisse hat. Seine Schlussfolgerungen sind durch die seitherigen Forschungen vollständig bestätigt worden."

die nöthige Hülfe bot. Alsdann wurden von 62 möglichst gleichmässig auf der Oberfläche des Planeten ausgesäeten Punkten die genauen areographischen Längen und Breiten ermittelt. Die Opposition von 1877 fügte es, dass der Südpol der Erde zunächst zu liegen kam, und so musste natürlich auch in Schiaparelli's Marszeichnungen die Südhemisphäre eine unwillkürliche Bevorzugung erfahren. Unsere Fig. 5

Fig. 5.



stellt diese Halbkugel in der hier ganz von selbst sich darbietenden orthographischen Polarprojektion (vgl. Kap. V der zweiten Abtheilung) dar. Als Nullpunkt der — bis 360° in gleichem Sinne fortlaufenden — Längenzählung wurde der in den Sinus Sabaeus hineinragende Landvorsprung Aryn*) gewählt. Schiaparelli schloss sich nämlich nicht dem Vorgange Terby's (s. o.) an, sondern belegte die einzelnen Gegenden mit neuen Namen, die durchaus der mythologischen Geographie der älteren und mittleren Zeit entlehnt sind. Sein Entdecker-

*) Schiaparelli fusst bei der Wahl dieses Namens auf einer kosmographischen Sage, die von den Arabern herrührt und das ganze Mittelalter durchzieht. In Innerasien sollte die Erde sich glockenförmig nach oben wölben, und an diese Bergkuppel Aryn wurden die sonderbarsten Hypothesen geknüpft [51].

recht hiezu steht unseres Erachtens ausser allem Zweifel, denn bei aller Verehrung für die wackeren Leistungen seiner Vorgänger müssen wir in ihm doch den ersten wissenschaftlichen Mars-Kartographen mit dem nämlichen Rechte anerkennen, mit welchem wir (s. §. 9) die exakte Selenographie erst von Tobias Mayer datiren lassen. Die mikrometrische Festlegung der Fundamentalpunkte erhebt in diesen beiden Fällen die darauf begründeten Pläne hoch über das Niveau der früheren Faustzeichnungen, deren Richtschnur allein das doch immer trügerische Augenmaass war. Allein Kaiser [52] sowohl wie Secchi [53] hatten den variablen Umrissen der Marsflecken gegenüber den Muth zu schärferen Ortsbestimmungen verloren.

Ob die neuen Bezeichnungen Meer, See, Busen, Meerenge, Vorgebirge u. s. w. wirklich genau das bezeichnen, was man in der Geographie darunter versteht, muss natürlich für's Erste eine offene Frage bleiben, allein man hat doch jetzt den grossen Vortheil, mit jedem areographischen Objekte einen festen Begriff verbinden zu können. Die dunkleren und helleren Partieen der Marsoberfläche hat man übrigens von je mit Wasser und Festland identificirt, und ebenso lag es gleich von Anfang nahe genug, in den mit den Jahreszeiten ihre Grösse ändernden Polarflecken Schneezonen zu erblicken [54]. Der südliche Fleck, an welchem in Folge der oben geschilderten Umstände unser Interesse zunächst haften muss, bleibt übrigens vom Pole immer 5—6 Grade entfernt, wie auch sein Umfang nach anderen Seiten hin sich ändern mag; diese schon von Linsser erkannte Thatsache mag darin ihren Grund haben, dass nahe auf der dem Polarfleck entgegengesetzten Seite des Axenendes die beiden grossen Inseln Thyie liegen. Die Ausdehnungen und Zusammenziehungen der Mars-Polarflecke erinnern in ihren zeitlichen Verhältnissen lebhaft an das, was wir auf der Erde zu sehen gewohnt sind, wo ja auch die der Polarschifffahrt günstigste Zeit erst nach der Sommersonnenwende eintritt [55]. Schiaparelli bekennt sich bezüglich dieser Flecke zu der Ansicht, dass in ihnen Dämpfe zu erblicken seien, welche bei niedriger Temperatur in den festen Aggregatzustand übergeführt wurden, und da nach Vogel's Untersuchungen die Marsoberfläche von Wasserdämpfen erfüllt ist, darf wohl der feste Aggregatzustand des Wassers, Schnee und Eis, als das die Flecke bildende Material betrachtet werden, obgleich eine völlige Sicherheit hierüber noch nicht gewonnen ist. An Eismassen ist deshalb wohl weniger zu denken, weil diese schwerlich zu einem so kompakten Ganzen vereinigt bleiben würden, vielmehr spricht Manches dafür, dass eine feste Schnee-Kalotte der Oberfläche des Planeten und dem Grunde der — vielfach seichten — Meere aufgesetzt ist.

Von diesem ausgezeichneten Flecken abgesehen, sind die Flecke des Mars durch ihren Helligkeitsgrad sehr leicht von einander zu unterscheiden. Die dunklen Flecke, deren düstrer Lichtton sich im nördlichen Theile des tyrrhenischen Meeres, im Sinus Sabaeus und im Sinus Margaritifer bis zur vollständigen Schwärze steigert, gelten als Meere, weil man weiss, dass die irdischen Kontinentalmassen das ihnen zugesandte Sonnenlicht grossentheils reflektiren, die Wasserflächen dagegen absorbiren. Die Abstufungen in der Dunkelheit können in der ungleichen Tiefe, in der verschiedenen Durchsichtigkeit des Meer-

wassers, oder auch in dessen chemischer Zusammensetzung ihren Grund haben. Freilich ist eingewandt worden, dass in diesen Meeren und Seen das Sonnenbild sich wiederspiegeln müsse, allein die Oberfläche derselben dürfte schon in Folge der von den Monden bewirkten Gezeiten (s. o.) und auch in Folge atmosphärischer Beunruhigung schwerlich den zur Reflexion erforderlichen glatten Spiegel darbieten [56]. Die hellen Flecke halten wir für festes Land; ihre Lichtnuancen bringen wir mit den darüber lagernden Wolken und Nebeln in Verbindung. Zweifelhafter kann man sein bezüglich der Regionen von mittlerem Lichtton (westlicher Theil von Ausonia sammt Oenotria und Japygia, sodann Noachis, Pyrrha-, Deukalion-, Proteus-Land, Ogygia, Atlantis II und der schmale Theil der Halbinsel Hesperia). Recht wohl möglich ist es, dass man es bei diesen Partieen, deren Reflexfähigkeit geringer als beim Festland, deren Absorptionsfähigkeit dagegen wieder geringer als beim Meere ist, mit einem Mitteldinge, mit submarinen Bänken und Untiefen, zu thun habe.

Für die Umrisslinien des Festen und Flüssigen auf der Meeresoberfläche sind die nachstehenden sieben, eine allgemeine Konfigurationslehre in sich schliessenden Sätze Schiaparelli's maassgebend [57]: I. Die weitaus überwiegende Landmasse liegt, nur von schmalen Wasseradern durchzogen, in einer äquatorialen Zone; II. Zwischen dieser und der südlichen gemässigten Zone breiten sich zusammenhängende Binnenmeere aus, unterbrochen durch lange, von Nordwest nach Südost gerichtete Halbinseln; III. Auf der Südhemisphäre ordnen sich die Länder nach zwei der Mittelzone wesentlich parallel verlaufenden Gürteln, deren kleinerer allerdings blos durch die beiden Inseln Thyle gebildet wird; IV. Wo die in II genannten Halbinseln an die beiden kontinentalen Zonen anschliessen, münden zu ihren beiden Seiten geräumige Kanäle, welche jene Zonen durchziehen (Eridania, Hesperia's Ausläufer, wird beispielsweise von Skamander und Xanthus eingeschlossen u. s. w.); V. Diesen Kanälen eignet im Allgemeinen eine meridionale Richtung, die sich am schärfsten beim Alpheus ausprägt; VI. Auch die Aequatorzone wird — diess zu erkennen, reicht unsere Karte nicht mehr aus — durch Kanäle getheilt, welche aber mehr der Richtung der Parallelkreise folgen; VII. Die Vertheilung von Wasser und Land ist eine gänzlich verschiedene von jener auf der Erde, welch' letztere zwei Weltinseln in noch weit ausgedehntere Wassermassen eingebettet aufweist, auch ist der Uebergang vom Festen zum Flüssigen ein weit unmerklicherer als bei uns. All' diess zusammengehalten, muss man wohl die Ueberzeugung gewinnen, dass das Studium der Areographie, welche uns in grossen Hauptzügen so manche Aehnlichkeit mit unseren irdischen Verhältnissen, im Detail dagegen wieder so manche Verschiedenheit vor Augen stellt, einen sehr hohen Werth nicht nur für die „vergleichende" Erdkunde, sondern auch für die Geologie besitzt. Wir lernen diesen Werth noch höher veranschlagen, wenn wir zum Schlusse auch auf die meteorologischen Eigenthümlichkeiten des Mars einen Blick werfen.

Dass der Planet überhaupt von einer Atmosphäre umschlossen ist, erhellt aus der grösseren Helligkeit, welche den Rand seiner Scheibe gegenüber den centralen Partieen auszeichnet, aus der vorübergehenden Trübung, die ab und zu an den verschiedensten Orten eintritt, und

aus der konstanten Trübung, welche die Flecke nicht selten erleiden, sobald sie in Folge der Axendehnung dem Rande sich nähern [58]. Genauere Untersuchungen zeigen uns, dass die Wolken des Mars der Hauptsache nach ein ähnliches Verhalten an den Tag legen, wie die Wolken der Erde. Eine durch Trübungen ausgezeichnete Kalmenzone ist nicht vorhanden, was jedenfalls mit der eigenthümlichen Vertheilung von Wasser und Land zusammenhängt, dafür aber scheint zur Zeit der Solstitien die Luft auf der einen Halbkugel im Zustande der Verdampfung, auf der anderen im Zustande der Verdichtung sich zu befinden, während in der Zwischenzeit die Verdampfungszone nach Süd und Nord von zwei Kondensationsgebieten begrenzt erscheint. Diesen allgemeinen Andeutungen gemäss muss es uns vorkommen, als sei die Areometeorologie eine minder verwickelte Wissenschaft, als ihre irdische Gefährtin; bestätigt sich diess aber, so wird unsere Witterungskunde aus den an der Marsoberfläche sich abspielenden Vorgängen ganz ebenso Nutzen zu ziehen im Stande sein, wie aus der Betrachtung der Witterungsverhältnisse Nordamerika's, für welche deren Einförmigkeit charakteristisch ist.

§. 6. **Weitere Schlüsse aus der Analogie zwischen Mars und Erde.** Der Umstand, dass die Bahnkurve des Mars eine ungleich entschiedenere Abweichung von einem Kreise aufweist, als die Bahn irgend eines anderen Planeten, hat die Veranlassung dazu gegeben, gewisse geologische Theorieen, welche neuere Naturforscher an die Excentricität der Erdbahn anzuknüpfen beflissen waren, an dem Planeten Mars zu prüfen, und in der That kann derselbe aus dem angegebenen Grunde als ein ganz geeignetes Prüfungsobjekt gelten. Es kommen wesentlich die drei Hypothesen von Adhémar, Croll und Schmick*) in Frage, und dieser Letztere ist es auch gewesen, der in einer eigenen Schrift [60] die Vergleichung von Erde und Mars unter den angeführten Gesichtspunkten anregte. Bei all' diesen Spekulationen handelt es sich um eine chronische Verschiebung des Erdschwerpunktes in Folge von Wasseransammlungen, und zwar denkt sich Adhémar jenen Erdpol, für welchen die Excentricitätsschwankung der Bahnkurve eine andauernd niedrigere Temperatur bedingen soll, von einer mehr und mehr wachsenden Eiskruste umgeben, durch deren Masse der Schwerpunkt der Erde gegen den kälteren Pol hin verrückt werde; hiedurch endlich würden auch die Gewässer der wärmeren Halbkugel nach der kälteren hinzuströmen veranlasst. Wäre diese Anschauung, mit welcher diejenige Croll's manches Gemeinsame hat, begründet, so müsste an dem von der Wärme minder begünstigten Marspol sich allerdings eine kontinuirliche Vergrösserung des Eispanzers beobachten lassen, und es spricht, wie Schmick ganz richtig bemerkt, auf das Entschiedenste gegen Adhémar, dass alle Marsforscher übereinstimmend von einem an enge zeitliche Grenzen gebundenen Zu- und Abnehmen der Polar-

*) Es wird von jenen Theorieen eingehender gehandelt werden in dem Kapitel der V. Abtheilung, welches die Schwankungen des Klima's innerhalb längerer Perioden zum Gegenstande hat. An diesem Orte müssen wir uns natürlich auf eine summarische Skizzirung der Grundgedanken beschränken, verweisen aber zugleich auf die früher von uns gegebene Sachkritik des ganzen Vorstellungskreises [59].

flecke berichten. Allein ebenso ungerechtfertigt erscheint es, von einer Rechtfertigung der bekannten Schmick'schen Lehre, nach welcher in ungeheuer langen Perioden je die eine und die andere Planetenhalbkugel überfluthet werden soll, durch die von der Marsoberfläche dargebotenen Erscheinungen sprechen zu wollen. Es nützt auch der Zusatz nichts, dass die gegenwärtige Landgruppirung des Mars als ein „greisenhaftes“ Residuum jener Ereignisse bezeichnet wird, welche sich früher begeben haben sollen, denn eben aus dürftigen Residuen verbietet es sich, Schlüsse auf einen mehr entwickelten Zustand zu machen. Sehr sprechend ist, wie A. Kirchhoff in seiner Recension des Schmickschen Buches [61] hervorhebt, die Aehnlichkeit zwischen dem äquinoktialen Landgürtel des Mars und gewissen Archipelen der Erde (z. B. der hinterindischen oder dänischen Inselwelt). Kein Geologe aber denkt so leicht daran, diesen Inseln eine gewissermassen dynamische Entstehung zuzuschreiben, sie als Bruchstücke einer durch Sturmfluthen (im Sinne Schmick's) zerrissenen Festlandmasse aufzufassen, vielmehr führt man die Bildung eines Archipelagus durchweg auf säkuläre Senkungen zurück. Der Versuch, aus den zwischen Mars und Erde unleugbar vorhandenen Analogieen Kapital zu Gunsten einer selbst für terrestrische Verhältnisse noch sehr zweifelhaften Hypothese schlagen zu wollen, erscheint als nicht geglückt*).

§. 7. **Der Erdmond.** Aus der fast einen Grad (57′ 2″) betragenden Horizontalparallaxe des Mondes berechnet sich für diesen eine relativ kleine Erddistanz, die blos 384000 Kilometer beträgt, doch ist diess nur ein Mittelwerth; der wahre Werth kann auf 414000 km steigen, auf 354000 km fallen. Der Durchmesser des Mondes beträgt 3475 km, sein Rauminhalt etwa $^1/_{50}$ von demjenigen der Erde, seine Masse $^1/_{80}$ der Erdmasse, weshalb seine Dichte etwa die Hälfte der mittleren Erddichte ausmacht. Diese Zahlen sind Newcomb [63] entnommen, während Mädler [64] zumal den Werth für die Dichte etwas höher ansetzt. Eine Abplattung der Mondkugel im gewöhnlichen Sinne ist kaum vorhanden, doch wird sich bald ergeben, dass wir trotzdem nicht von einer reinen Kugelform dieses unseres Begleiters sprechen dürfen.

Eine charakteristische Eigenthümlichkeit des Mondes ist es, dass er uns — geringfügige Ausnahmen vorläufig unberücksichtigt gelassen — stets nur dieselbe Seite zuwendet. Merkwürdigerweise wollte man hierin früher einen Beweis dafür erblicken, dass der Mond gar keine Axendrehung habe, und in dem für seine Zeit ausgezeichneten mathematischen Lehrbuche Chr. v. Wolf's findet sich z. B. folgende Stelle [65]: „Von dem Monden weiss man gewiss, dass er sich nicht um seine Axe beweget, sondern immer eine Seite der Erde zukehret.“ Ein wenig Nachdenken führt zu dem umgekehrten Schlusse, dass allerdings der Mond sich um seine Axe dreht und diese Umdrehung genau in der nämlichen Zeit vollendet, welche er zur Vollendung einer Um-

*) Ein anderes Beispiel allzuweit getriebener Parallelisirungsversuche ist einer Abhandlung Lambert's über den Mond zu entnehmen [62]: Die Erde werde ihrer Wälder halber einem Mondbewohner in grünlichem Lichte erscheinen, und ebenso sei die rothe Farbe des Marslichtes vielleicht die Folge einer rothgefärbten Vegetationsdecke dieses Planeten.

wälzung um die Erde benöthigt; mit anderen Worten: Tag und Jahr sind für den Mond ein und dasselbe. Es ist, wie Newcomb [66] betont, sehr unwahrscheinlich, dass dieses Verhältniss völliger Gleichheit der Rotations- und Revolutionsdauer von allem Anfang an bestanden haben sollte, vielmehr lässt sich vermuthen, dass die beiden Zeitmaasse ursprünglich um eine wenn auch kleine Grösse verschieden waren, und dass erst die Anziehung der Erde auf den in flüssigem oder halbflüssigem Zustand befindlichen Mondkörper nach und nach den gegenwärtigen Zustand herstellte. Es hängt diess zusammen mit einer anderen bemerkenswerthen Eigenschaft des Mondkörpers, zu deren richtiger Charakterisirung wir jedoch etwas weiter auszuholen genöthigt sind.

Wenn eine flüssige schwere Masse rotirt, so dass also deren sämmtliche Theilchen einerseits der gegenseitigen Anziehung, andererseits der Centrifugalkraft unterworfen sind, so braucht die Masse durchaus nicht, wie man früher glaubte, die Form eines an den Polen abgeplatteten Rotationssphäroides anzunehmen, vielmehr hat schon Jacobi gezeigt, dass auch die Oberfläche des dreiaxigen Ellipsoides eine Gleichgewichtsfläche sei [67]. Während der berühmte Engländer W. Thomson einmal den Wunsch aussprach, das Problem der Gleichgewichtsfiguren möchte doch endlich generell in Angriff genommen werden, ist diess thatsächlich schon längst durch den deutschen Physiker Matthiessen geschehen, der am Schlusse seiner den Gegenstand allgemein erörternden Abhandlung [68] eine Liste aller hieher zu zählenden Körperformen mittheilt. Speziell für satellitische Gleichgewichtsfiguren (bei weit entferntem Centralkörper von sphäroidaler Form) sind folgende Variationen möglich: Hohl- und Vollkugel, Verlängerte zwei- oder dreiaxige Ellipsoide — von Roche [69] als Mondfiguren bezeichnet — und Ringe mit elliptischem Querschnitte, wie schon von Laplace in dessen grundlegender Schrift über die Figur der Planeten [70] erkannt worden war. Diess vorausgesetzt, kann also der Mond schon von Hause aus jede beliebige ellipsoidische Gestalt besessen haben, und die Attraktion der Erde konnte die nach ihr hin sich richtende Axe nur in dem Sinne verlängern, wie ja auch die Attraktion des Mondes stets die Wasserhülle unserer Erde aus einer Kugel in ein Ellipsoid zu verwandeln strebt. Die kürzeste Axe wurde die Drehungsaxe, die nächstlängere kam in die Richtung der Mondbewegung zu liegen, und die längste gieng in ihrer Verlängerung durch den Erdmittelpunkt hindurch. Letzterer Umstand ist es eben, der die allmählige Koincidenz von Tages- und Jahresdauer bewirkte. Uebrigens ist die Differenz zwischen den drei Axen des Mondellipsoides nur eine sehr geringe, die grösste Axe ist etwa um 75 Meter länger als die kleinste.

Der Schwerpunkt eines dreiaxigen Ellipsoides fällt zwar bei homogener Vertheilung der Masse mit dessen geometrischem Mittelpunkte zusammen, beim Monde aber scheint es sich anders zu verhalten. Kant hat [71] dieses Auseinanderfallen beider Punkte geahnt, Hansen in einem am 4. November 1854 abgesandten Briefe an Airy den Beweis dafür angetreten. Zöllner selbst stellte die Aeusserungen beider Forscher neben einander [72], und wir lassen seine Zusammenstellung hier folgen:

Kant (1794).

„Nach anderweitigen bewundernswerthen Entdeckungen ebendesselben Astronomen *), die Struktur der Mondfläche betreffend, scheint die uns zugekehrte Hälfte des Mondes ein einer ausgebrannten vulkanischen Schlacke ähnlicher und unbewohnbarer Körper zu sein. Wenn man aber annimmt, dass die Eruption der elastischen Materien aus dem Innern desselben, solange er noch im Zustande der Flüssigkeit war, sich mehr nach der der Erde zugekehrten, als von ihr abgekehrten Seite gewandt haben (welches, da der Unterschied der Anziehungen der ersteren von der des Mittelpunkts des Mondes grösser ist, als der zwischen der Anziehung des Mittelpunkts und der abgekehrten Seite, und elastische in einem Flüssigen aufsteigende Materien destomehr sich ausdehnen, je weniger sie gedrückt werden, beim ersteren dieses Weltkörpers auch grössere Höhlungen im Inwendigen desselben auf der ersteren als auf der letzteren Hälfte hat zurücklassen müssen); so wird man sich gar wohl denken können, dass der Mittelpunkt der Schwere mit dem der Grösse dieses Körpers nicht zusammentreffen, sondern zu der abgekehrten Seite hin liegen werde, welches dann zur Folge haben würde, dass Wasser und Luft, die sich etwa auf diesem Erdtrabanten befinden möchten, die erstere Seite verlassen, und indem sie auf die zweite abflossen, diese dadurch allein bewohnbar gemacht hätten."

Hansen (1854).

„Erlauben Sie mir zum Schluss einige wenige Bemerkungen über vorstehende Erklärung der Vergrösserung der Koefficienten der Mondstörungen. Aus dem oben angeführten Werthe des Faktors folgt, dass der Mittelpunkt der Figur des Mondes ungefähr 59 000 Meter, d. i. ungefähr 8 geographische Meilen (15 Meilen auf einen Aequatorgrad gerechnet) näher nach uns zu als der Schwerpunkt liegt, wonach zwischen der uns zugekehrten und der von uns abgekehrten Mondhemisphäre ein beträchtlicher Unterschied in Betreff des Niveau, des Klima und aller andern davon abhängigen Umstände stattfinden muss ......"

„Unter solchen Umständen haben wir uns nicht zu wundern, dass der Mond, von der Erde aus gesehen, ein dürres Aussehen hat, weder eine Atmosphäre, noch thierisches oder pflanzliches Leben zeigt. Denn wenn auf dem Monde ein verhältnissmässig ebenso hoher Berg existirte, der also eine Höhe von 216 000 Meter oder 29 geogr. Meilen hätte, so würde auf seinem Gipfel nicht die geringste Spur einer Atmosphäre oder von irgend etwas, was davon abhängt, zu sehen sein."

„Fragen wir jetzt nach der Ursache dieser Beschaffenheit des Mondes, so halte ich es nicht für unmöglich, dass vulkanische und andere ähnliche Kräfte im Innern dieses Weltkörpers bei weitem weniger Widerstand auf einer seiner Halbkugeln als auf der andern gefunden und daher viel grössere Erhebungen der Oberfläche auf der ersteren statt letzteren bewirkt haben."

*) Es ist Schröter gemeint.

Soweit der Wortlaut dieser allerdings äusserst merkwürdigen Parallelstellen. Das Auseinanderliegen des statischen und des geometrischen Centrums dürfte sonach wohl unter die feststehenden wissenschaftlichen Fakta zu zählen sein, doch muss man sich hüten, die Thatsache im Sinne eines Depuis u. a. vorschnell für die Zwecke der Konjekturalastronomie auszubeuten [73].

Oben schon ward erwähnt, dass geringfügige Schwankungen der Mondkugel einen kleinen Theil (etwa $^1/_{10}$) der jenseitigen Hemisphäre zu übersehen gestatten. Man unterscheidet eine Libration in Länge (Maximum 7° 53′), eine Libration in Breite (Maximum 6° 47′), eine parallaktische Libration und eine physische Libration. Letztere wird eben durch das vorstehend erörterte Uebergewicht der uns abgewandten Halbkugel verursacht. Sie pflegt in den Lehrbüchern häufig vernachlässigt zu werden, und es wird sich deshalb verlohnen, mitzutheilen, was Mädler von ihr aussagt [74]: „Die neuesten Arbeiten über diesen Gegenstand hat Wichmann veröffentlicht. Er hat die bereits von Bessel begonnenen, von ihm und Schlüter fortgesetzten Beobachtungen eines Ringgebirges auf dem Monde dazu benützt, die Elemente der Rotation und Libration genauer zu untersuchen. Indess lässt sich bis jetzt aus seinen Rechnungen nur schliessen, dass die physische Libration zu klein sei, um daraus bestimmt zu werden."

Einem (imaginären) Mondbewohner würde selbstverständlich die Erde wesentlich anders erscheinen, als uns der Mond sich darstellt. Die grosse leuchtende Kugel, auf welcher die Umrisse der Kontinente deutlich erkennbar wären, geht weder auf noch unter, sondern sie schwebt stets am Firmamente, und ändert ihren Ort nur wenig, indem sie sich innerhalb eines für jeden Mondort leicht abzugrenzenden sphärischen Parallelogramms hin- und herbewegt. Näheres hierüber ist in Mädler's Astronomie [75] zu finden.

§. 8. **Licht, Wärme und Atmosphäre des Mondes.** Den Bestimmungen Bouguer's zufolge verhält sich die Intensität des Mondlichtes zu demjenigen des Sonnenlichtes wie 1 : (250 000—300 000), jenen Leslie's zufolge wie 1 : 150 000 [76]. Bond fand [77], dass die mittlere Sonne 470 980 mal heller sei, als der mittlere Mond. Alle diese früheren Versuche wurden in den Schatten gestellt durch die umfassenden Untersuchungen Zöllner's, der nach zwei verschiedenen Methoden für den fraglichen Verhältnisswerth 1 : 619 600 ermittelte, wobei dem Resultate ein wahrscheinlicher Fehler von 2,7 % anhaftet [78]. Leslie's Behauptung (a. a. O.), dass die Mondoberfläche wie ein sogenannter Lichtsauger (Bologneser Leuchtstein) wirke, ist eine isolirte geblieben oder hat sich doch nur (s. u.) insoweit bestätigt, dass allerdings ein starkes Absorptionsvermögen nachgewiesen ward. Er war zu dieser Annahme einer Phosphorescenz des Mondlichtes wesentlich durch die Erwägung gedrängt worden, dass, wenn der Mond uns reflektirtes Licht zusendete, das Bild der Sonne an ihm wie an einem Spiegel wiederstrahlen müsste. Roger Bacon und der Araber Averroes waren nach Kästner [79] bereits in demselben Irrthum befangen gewesen, der sich doch durch den Hinweis auf die wenigstens zu Leslie's Zeit sehr wohl bekannte Thatsache beseitigen lässt, dass ja die Mondoberfläche nicht glatt, sondern im

Gegentheile so rauh wie nur möglich ist. Diese Rauhigkeit bringt es mit sich, dass, wie Arago zuerst feststellte, im Mondlichte auch polarisirtes Licht vorhanden ist, denn die polyedrische Gestalt der Bergadern bietet eben diejenigen Neigungswinkel der Fläche dar, welche zur Polarisation des zurückgeworfenen Sonnenlichtes eine Vorbedingung sind [80].

Hier ist auch der Ort, von dem aschgrauen Licht des Mondes („lumière cendrée") zu sprechen. Je weniger der Mond für die Erde erleuchtet erscheint, je dünner mithin seine Sichel ist, um so mehr Licht erhält er von der Erde zugesandt, und dieses, das bekanntlich nicht von letzterer selbst stammt, sondern der Sonne entlehnt ist, besitzt noch Leuchtkraft genug, um durch abermalige Reflexion den an sich unsichtbaren Theil der uns zugewendeten Mondhalbkugel in einem Dämmerlichte erscheinen zu lassen. Es ist merkwürdig, dass die hier vorgetragene Erklärung nahezu gleichzeitig von Mästlin und Galilei [81] gegeben wurde; für ersteren erhob sein grosser Schüler Kepler [82] die Prioritäts-Reklamation. Allein schon ein volles Jahrhundert früher hatte Lionardo da Vinci das Phänomen richtig gedeutet, ohne es doch der Mühe werth gehalten zu haben, seine Entdeckung zu veröffentlichen [83]. Etwas sanguinisch spricht Arago [84] die Hoffnung aus, man werde dereinst aus der wechselnden Intensität des aschgrauen Lichtes, dessen Strahlen ja allerdings zweimal unsere Atmosphäre durchkreuzen müssen, Schlüsse auf den mittleren Durchsichtigkeitszustand der Erdluft ziehen können*).

Dass der Mond wenig oder keine Wärme ausströmt, war schon den alten Kulturvölkern bekannt; die Inder nannten ihn deshalb den „kaltstrahlenden", und Plutarch wie Macrobius konstatirten, dass der Mond die von der Sonne ihm übermittelten Wärmestrahlen zurückhalte [87]. Bis auf Forbes herab missglückten alle Versuche gewandter Experimentatoren, irgend welche Einwirkungen des Mondlichtes auf das Thermometer zu erzielen, obwohl De la Hire und v. Tschirnhaus die mächtigsten Brennspiegel und Sammellinsen zur Anwendung brachten. Derselbe Spiegel, mit welchem der Letztgenannte im Winter Asbest zu Glas verbrannte, und zwar im Verlaufe von nur zwölf Minuten, liess, wenn in seinem Fokus die Vollmondstrahlen gesammelt wurden, zwar vermehrte Helligkeit, nicht aber eine erhöhte Temperatur wahrnehmen. Erst der von Melloni erfundene Thermomultiplikator ermöglichte es diesem Gelehrten, im Vereine mit Belli und Mossotti schwache Spuren der Mondwärme nachzuweisen [88]. Marié-Davy und Lord Rosse setzten diese Forschungen fort, und namentlich dem Letzteren war das Glück hold [89].

---

*) Von einem anderen Phänomen, dessen Beschreibung vielfach, auch im „Kosmos", mit jener des Erdlichtes verbunden wird, reden wir hier nur vorübergehend, da dessen Erörterung eigentlich in die Lehre von der irdischen Strahlenbrechung gehört. Bei einer totalen Mondfinsterniss ist der Mond selten ganz verschwunden, meistentheils bleibt die verfinsterte Scheibe in schmutzigrothem Lichte sichtbar. Plinius erzählt, was er von dieser Erscheinung wusste, mit den Worten [85]: „Mirum, quanam ratione, quum solis exortu umbra illa heliotatrix sub terra esse debeat, semel jam acciderit, ut in occasu luna deficeret, utroque super terram conspicue sidere." Die bis heute beibehaltene Erklärung schreibt sich von Kepler [86] her.

Er vermochte nicht nur darzuthun, dass die vom Monde zu uns gelangenden Wärmestrahlen nicht sowohl der Reflexion als vielmehr der Einschluckung und nachherigen Wiederausstrahlung ihr Dasein verdanken, sondern es gelang ihm auch, schätzungsweise einige Aufklärung über die Temperaturdifferenzen zu erhalten, die für irgend einen Mondort zwischen Tag und Nacht bestehen und namentlich deshalb zu beträchtlicher Grösse (300°) anwachsen müssen, weil keine irgend erhebliche Atmosphäre die Ausstrahlung der absorbirten Strahlen in den Weltraum verhindert.

Denn dass, wenn überhaupt eine Atmosphäre des Mondes vorhanden ist, diese doch nur einen Grad der Feinheit und Verdünnung besitzt, wie man ihn mit unseren Luftpumpen kaum herzustellen in der Lage wäre, scheint ausser Zweifel zu stehen. Die Frage nach der Existenz einer Mondluft steht seit zweihundert Jahren schon auf der wissenschaftlichen Tagesordnung. Hevelius entschied dieselbe ohne viel Bedenken in bejahendem Sinne [90], und ebenso stellte C. v. Wolf den „Lehrsatz“ auf [91]: „Umb den Mond herumb ist eine elastische und schweere Luft, darinnen die Dünste aufsteigen und durch Regen oder Thau wieder herunter fallen.“ Möglicherweise hatte zu letzterer Behauptung Mästlin die Veranlassung gegeben, der einen Mondregen beobachtet haben wollte [92]. Systematisch und ruhig prüfte dagegen den Gegenstand der Altdorfer Mathematiker H. Müller [93], indem er den damals natürlich noch in hohem Ansehen stehenden Angaben Hevel's diejenigen eines Huygens, Duhamel und Eimmart gegenüberstellt, welch letzterer mit Bestimmtheit erklärt hatte: „Tenuis aër non videtur esse suffusus luna, alioquin non cernerentur minutiae subtilissimae tam clare atque distincte in tanta remotione.“ Müller selbst zieht, das Für und Wider sorgsam abwägend, das Facit seiner Untersuchung mit den Worten [94]: „Atmosphaera circa lunam prorsus negari non potest.“ Gegen die Annahme einer der irdischen irgend vergleichbaren Atmosphäre sprechen insbesondere zwei Umstände: die scharfe Begrenzung der Schatten, welche die Mondberge werfen, und die bei Sternbedeckungen gemachten Erfahrungen, indem der Stern bis zu dem Augenblicke, in welchem der Mondrand ihn verdeckt, in ungeschwächtem Glanze leuchtet. Bessel beschäftigte sich mit der an ihm stets gewohnten Sorgfalt mit dieser Frage und fand [95], dass der höchste Werth einer lunaren Strahlenbrechung, welcher allenfalls noch als mit den Beobachtungen verträglich angenommen werden könnte, eine Sekunde sei, und dass unter Zugrundelegung dieses Werthes die obere Grenze für die Dichtigkeit der Mondatmosphäre höchstens auf $^1/_{1000}$ der Dichtigkeit unserer irdischen Atmosphäre gewerthet werden könne. Neuerdings endlich haben die englischen Astronomen, welche das Studium der Mondkunde sich zur besonderen Aufgabe gestellt haben, entgegengesetzte Ansichten verlautbaren lassen, welche man in den berühmten selenographischen Werken, deren der folgende Paragraph eingehender zu gedenken haben wird, vorgetragen findet, bei Nasmyth-Carpenter im fünften, bei Neison im zweiten Kapitel. Die beiden Ersteren sprechen dem Monde jedwede Lufthülle nicht nur für die Gegenwart ab, sondern gehen sogar so weit, zu erklären, dass es eine solche zu gar keiner Zeit gegeben haben könne, Neison dagegen, der schon früher in Bessel's bezüglichen Rechnungen

eine nicht unwichtige Vernachlässigung bemerkt hatte, schliesst aus seiner Diskussion der lunaren Horizontalrefraktion, dass recht wohl eine Atmosphäre von der Dichtigkeit $1/400$ angenommen werden dürfe. Wir werden sonach wohl berechtigt sein, den vorsichtigen Ausspruch des alten Müller (s. o.) auch heute noch gelten zu lassen. Eine sehr beachtenswerthe Wahrnehmung ist diejenige des absolut zuverlässigen Julius Schmidt, dass ihm einmal ein Kratergrund in mattgrauer Färbung erschienen sei, während ringsum noch tiefes Dunkel die Gebirge einhüllte, ein Anomalon, dessen Erklärung am besten in der Weise gegeben werden könne, dass man die Tiefe des Kraters als durch eine Gas- oder Dampfmaterie erfüllt sich denke, deren die Ränder übersteigende Oberfläche von der aufgehenden Sonne erleuchtet werde [96].

§. 9. **Die Mondtopographie in ihrer geschichtlichen Entwickelung.** Schon das Alterthum interessirte sich für das „Gesicht“ im Monde, wie es die in der historischen Einleitung erwähnte plutarchische oder pseudoplutarchische Schrift nennt; eben dort ist auch von dem Einfall des Agesianax [97] die Rede gewesen, dass der Mond die Konfiguration der Erdkonturen wiederspiegle. Wie Peschel erzählt [98], entwarf zuerst Anaxagoras Zeichnungen von den Mondflecken, in welchen er Höhen und Tiefen erblickte, und ihm soll der gleichen Quelle [99] zufolge der Scholastiker Alexander Neckam beigepflichtet haben, indem er sagte: „Aliis visum est, corpus lunae non esse rotundum, sed in quibusdam suis partibus esse eminentius, in aliis depressius“ *). Zur Klarheit über das Wesen der Unregelmässigkeiten in der Mondscheibe konnte natürlich erst das Fernrohr verhelfen, und so sehen wir denn gleich nach Erfindung des Fernrohres Galilei, Hirzgarter, Schyrle de Rheita u. a. eifrig an der Arbeit, Skizzen des Mondes anzufertigen [103]; besonderes Interesse scheint dem Monde nach neueren Studien Cassani's und Favaro's [104] auch Galilei's gelehrter Freund Paolo Sarpi entgegengebracht zu haben. Die erste diesen Namen verdienende Mondkarte ist diejenige des spanischen Hofkosmographen Van Langren, die unter dem Titel „Planisphaerium lunae, a se mediantibus telescopiis observatum“, während des Zeitraumes 1647—57 ausgegeben wurde; genauer weiss selbst Quetelet [105] den Zeitpunkt nicht zu präcisiren. Langren legte den auffälligeren Unebenheiten die Namen von Heiligen und biblischen Persönlichkeiten bei. Auf einer höheren Stufe sowohl wissenschaftlicher als auch namentlich künstlerischer Ausführung steht die in Hevel's berühmtem Mondwerke [106] mitgetheilte Vollmondkarte, zu deren Herstellung sich

*) Eine wie immer originelle, aber leider sehr schwer verständliche Theorie von der Natur des Mondes hatte sich Dante gebildet; man findet dieselbe paraphrasirt im zweiten Gesange des Paradieses, wo von Vers 85 an eine eigenthümliche, physikalische Auseinandersetzung beginnt; deren Anfang lautet nach Notter's Uebersetzung folgendermassen [100]:

„Ist locker nicht des Mondes ganze Schichte,
So muss ein Endpunkt sein, von wo nicht frei
Der Strahl kann nicht mehr ziehen durch das Dichte.“

Obwohl ein Mossotti [101] und ein Fürst Boncompagni [102] sich an der Interpretation dieser Stellen, namentlich wegen des darin beschriebenen katoptrischen Versuches, betheiligt haben, besteht doch immer noch nicht volle Klarheit über den eigentlichen Sinn.

der fleissige Mann durch mühsame Phasenzeichnungen vorbereitete. Ihm hatte ursprünglich der Gedanke vorgeschwebt, die Berge u. s. w. nach bekannten Astronomen zu benennen, allein er verwarf ihn wieder aus Furcht, da und dort anzustossen, und übertrug deshalb eine Reihe geographischer Kunstwörter auf den Mond, während er die von ihm als Meere betrachteten Dunkelstellen mit Phantasienamen (Mare serenitatis, mare imbrium u. s. w.) belegte [107]. Was Riccioli's bald nachher publicirte Mondkarte anlangt, die eigentlich von seinem Freunde Grimaldi, dem Entdecker der Lichtbeugung, herrührte, so war dieselbe zwar weniger vollkommen, als diejenige Hevel's, allein, da er ausführte, was jener nur gewollt hatte, und da seine Terminologie der Mondberge sich allgemein Eingang verschaffte, so ward er als Selenograph fast bekannter, als sein Vorgänger [108]; von Hevel's Bezeichnungen haben sich nur diejenigen der „Meere" zu erhalten gewusst. D. Cassini, De la Hire, Rost u. a. lieferten ebenfalls Mondkarten, die aber vor den bereits vorhandenen kaum einen Vorzug verdienten, da sie eben auch nicht auf eigentlicher Messung beruhten.

Hier Wandel geschafft zu haben, ist eines der vielen unsterblichen Verdienste des älteren Tobias Mayer, der das mit Mikrometer ausgerüstete Fernrohr wesentlich deshalb auf den Mond anwandte, um die selenographische Orientirung der wichtigeren Flecke ermöglichen und so Anhaltspunkte für seine Untersuchungen über die Mondrotation [109] gewinnen zu können. Seine Karte, obwohl nur klein dem Formate nach, übertraf weit alles bisher Geschaffene. Schröter dagegen, der nach einem neuen Plane die Topographie unseres Begleiters bearbeitete, hat in strenger Konsequenz dieses in einem voluminösen Werke [110] beschriebenen Planes vielleicht nicht ganz das geleistet, was man von seinen optischen Hülfsmitteln zu erwarten berechtigt gewesen wäre, doch verlangt nach Wolf's [111] Urtheil die Gerechtigkeit, dass man nicht ganz ohne Weiteres sich zu Mädler's ungünstigem Urtheil [112] bekenne. Um so reiflicher durchdacht war der Plan, welchen dreissig Jahre später Lohrmann seiner grossartigen Vermessungsarbeit des Mondes zu Grunde legte; leider starb er über dessen Ausführung, und es ist von dem Riesenwerke ausser vier Sektionsblättern nur eine treffliche Generalkarte erschienen. J. Schmidt danken wir es, die Lohrmann'schen Karten nunmehr in einer dem Standpunkte der neuesten Zeit angepassten Prachtausgabe [113] zu besitzen. Werthvolle Ergänzungen zu Lohrmann's Arbeiten lieferte F. W. Opelt [114]. Ziemlich gleichzeitig begann Mädler, in Gemeinschaft mit Beer, seine dankenswerthen selenographischen Arbeiten; beide zusammen lieferten die rasch berühmt gewordene Mondkarte [115] und das grosse beschreibende Textwerk [116] dazu, während Mädler allein den noch jetzt als Einleitung in die Mondkunde warm zu empfehlenden Auszug daraus [117] veröffentlichte. Vielseitig ward nach Beendigung dieser Arbeiten der Meinung Ausdruck gegeben, unser Wissen vom Monde sei jetzt ein abgeschlossenes, allein man braucht blos an den Maassstab der Mädler'schen Karte zu denken, um die Irrigkeit dieser Ansicht zu begreifen. „Dieser Maassstab," sagt Bessel [118], „bringt 16 deutsche Meilen auf jeden Zoll. Spezieller, als man ein Land der Erde, nach einem Maassstabe eines Zolles für 16 Meilen dargestellt, in einer Entfernung von 13 Zollen erkennen kann, können also die Mondkarten

nicht sein. Eine Karte, welche ganz Frankreich auf einem Quartblatte darstellt, ist so speziell, als die Mondkarten sein können." In der That trat zwanzig Jahre nachher Jul. Schmidt, der seit 1840 — zuerst in Olmütz, nachher aber unter dem günstigeren Himmel Athen's — ein unverdrossener Beobachter unseres Trabanten ist, mit einem neuen trefflichen Werke [119] über diesen hervor, und auch seit dieser Zeit hat derselbe eine Reihe wichtiger selenographischer Beiträge geliefert, unter welchen sein Katalog der Rillen und die am Schlusse des vorigen Paragraphen genannte Arbeit obenanstehen. In Deutschland ist zur Zeit der eifrigste Erforscher des Mondes H. J. Klein, von welchem in diesem Kapitel noch mehrfach die Rede sein wird. Der eigentliche Brennpunkt der Wissenschaft des Mondes ist aber gegenwärtig England; dort blüht eine eigene „Selenographical Society", dort arbeitet Birt im Auftrage der „British Association" an einer neuen grossen Mondkarte [120], dort endlich haben Nasmyth-Carpenter [121] und Neison [122] jene ausgezeichneten Werke geschrieben, deren wir schon gedachten, deren Kenntniss uns Deutschen eben durch Klein's Mühwaltung vermittelt worden ist. Zumal mit Neison's Schrift scheint wieder einmal ein Stufenjahr unseres selenographischen Lebens und Forschens erreicht, und es ist wenigstens für die nächsten Jahre keine wesentliche Bereicherung unserer Kenntnisse mehr zu erwarten, falls nicht etwa das Kapitel der physischen Veränderungen einen von menschlicher Initiative unabhängigen Zuwachs erfahren sollte. Eine gute neuere Schrift der populär-astronomischen Literatur Deutschlands ist diejenige M. Opelt's [123]*).

Die Absicht, einen Mondglobus zu konstruiren, soll zuerst De la Hire gehegt haben, doch fand dieselbe ihre Realisirung nicht [124]. Auch Tobias Mayer kam nicht mit diesem Geschäfte in's Reine, obwohl er die fertigen Segmente in musterhafter Ausführung hinterliess, dagegen sind später wirkliche Mondgloben hergestellt worden durch Riedl v. Leuenstern, durch Dickert und namentlich durch Mädler's Schwiegermutter, die Hofräthin Wilhelmine Witte [125]. Was aus einer gegen Ende des vorigen Jahrhunderts von J. Russell ziemlich pomphaft angekündigten künstlichen Mondkugel [126] geworden ist, wissen wir nicht zu sagen. Doch ist der Mangel an solchen Hülfsmitteln wohl wenig zu beklagen, da dieselben, so gut sie zur Veranschaulichung mancher Verhältnisse sich eignen mögen, doch kaum den Fortschritten der Wissenschaft zu dienen im Stande sind. Um so mehr thut diess die Mondphotographie im Vereine mit der Spektroskopie, die schon mit Daguerre ihren Anfang nimmt, aber erst nach und nach durch Bond, Whipple, Black, S. Wolf, Warren de la Rue, Rutherfurd, Draper und Janssen zur gegenwärtigen Vollen-

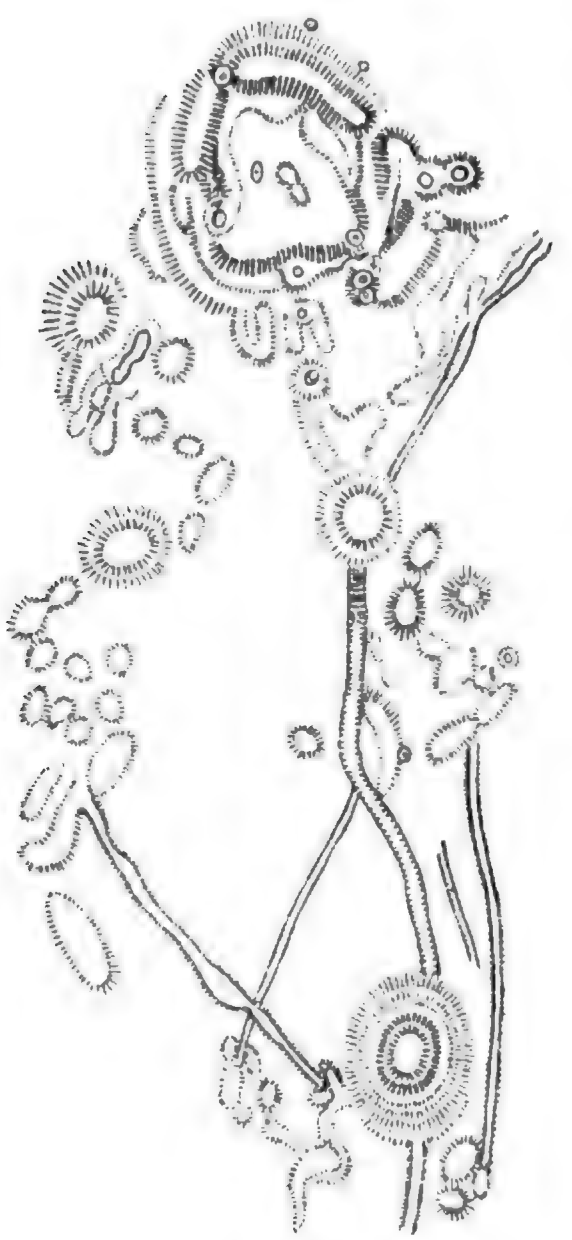
*) Sollte es einem Leser auffallen, dass Gruithuisen's oben gar nicht gedacht worden ist, so wolle er bedenken, dass derselbe eine ganz eigenthümliche Stellung einnimmt. Es ist wahr, derselbe hat in den von ihm herausgegebenen Zeitschriften („Analekten für Erd- und Himmelskunde", „Astronomisches Jahrbuch für physische und naturhistorische Himmelsforscher und Geologen") manch' brauchbares Material gesammelt, und man hat neuerdings (vgl. Abtheil. III, Kap. II) erkannt, dass doch mehr hinter ihm steckt, als zumal Mädler glauben machen wollte, allein ein Astronom im Sinne der Neuzeit war er eben doch nicht, und nur von diesen wurde oben gesprochen.

dung gebracht ward [127]. Dass auch die Spektralanalyse des Mondes nicht uneingedenk blieb, versteht sich wohl von selbst, doch konnte man, da ja unser Trabant kein eigenes Licht aussendet, von vornherein erwarten, dass Sonnen- und Mondspektrum sich nicht von einander unterscheiden würden, eine Erwartung, die Huggins bestätigt fand [128].

§. 10. **Allgemeine Beschreibung der Mondoberfläche.** Wenn wir, wie im Folgenden stets geschieht, uns strenge an die von Neison (im III. Kapitel) vorgeschlagene Klassifikation der Mondgebilde als an die zur Zeit gewiss beste halten, so haben wir zu unterscheiden: Dunkle Ebenen, etwa $^2/_5$ der Gesammtoberfläche, Kratergebilde, die am häufigsten vorkommende und für den Mond besonders charakteristische Formation, endlich Erhebungen schlechtweg, wozu dann noch die Rillen als etwas ganz Spezifisches hinzutreten. Die Ebenen erster Art zerfallen wieder in Hevel-Riccioli's „Maria", dunkle, grosse Flecke, die schon das unbewaffnete Auge wahrnimmt, „Paludes" und „Lacus", kleinere, hellere und minder gut begrenzte Flächen, endlich „Sinus" als scharf markirte Ausbuchtungen der sogenannten Meere, die natürlich diesen Namen nicht eigentlich verdienen, da zugleich mit der fast gänzlichen Abwesenheit von Luft auch das Fehlen von Wasser auf dem Monde festgestellt ist. Die Krater stellen sich uns dar als kreisrunde oder ovale Gebilde, deren umschliessende Wälle nach aussen weit sanfter als nach innen abfallen, während auch im Inneren niedrigere Erhebungen zu finden sind. Neison's feinerer Unterscheidung verdanken wir die folgenden Einzelkategorieen: Wallebenen, deren Durchmesser bis zu 240 km anwächst, unregelmässig begrenzte und verzweigte Ringe, ein Mittelding zwischen „Meer" und Krater repräsentirend; Bergringe („mountain-rings"), den Wallebenen ähnlich, jedoch mehr differentiirt und Spuren von Zerstörung an sich tragend; Ringgebirge im Mädler'schen Sinne („ring-plains"), von kreisförmigen, ungleich hohen Wällen umgebene Ebenen, in deren Mitte ein deutlicher Centralberg bemerkbar ist; Kraterebenen, den Ringgebirgen im Allgemeinen ähnlich, aber zerrissener und wilder; Eigentliche Krater, kleine (7—20 km im Durchmesser haltende) Gebilde mit regelmässiger, nicht sehr hoher Wallbegrenzung, ausgezeichnet durch Helligkeit; Kraterchen („craterlet"), Miniaturkrater von 1—9 km Durchmesser, durch alle Formationen ausgestreut, nicht zu verwechseln mit den früher damit konfundirten Kratergrübchen („crater-pits"), deren Wallring durch eine sehr geringe Neigung gegen die umgebende Ebene ausgezeichnet ist; man darf in ihnen gewöhnliche Einsenkungen („depressions") erblicken, wie sie auch auf der Erde vorkommen, und braucht gerade nicht an vulkanischen Ursprung zu denken. Doch giebt es auch noch Depressionen im engeren Sinne, thalartige Bildungen, denen der Wallring gänzlich fehlt, und isolirte steile Kraterkegel mit centralen Vertiefungen, die kaum bis zur Hälfte des Konus hinabreichen; ihre Aehnlichkeit mit den irdischen Vulkanen fällt am meisten in's Auge. Alle diese auf eine vulkanische Thätigkeit des Mond-Inneren hinweisenden Erhöhungen fallen nicht unter den Begriff der von Hevelius als „montes" bezeichneten Bodenerhebungen; wohl aber gehören in diese dritte Kategorie die eigentlichen Gebirgsketten („mountain-ranges"), welche zum Theile den

Längengebirgen, zum Theile den Hochplateau's der Erde vergleichbar sind, die isolirten Berge oder Piks, die verzweigten Hügellandschaften und die den wilderen Regionen angehörigen Bergrücken („mountain-ridges"). Hiezu endlich treten noch jene sonderbaren, langzeiligen Adern, deren Besonderheiten zu ergründen den Selenographen noch nicht gelungen ist. Engelmann, dessen eingehender Besprechung des Neison'schen Buches wir im Vorstehenden schon mehrfach gefolgt sind, berichtet hierüber [129]: „Als eine Klasse für sich betrachtet Neison schliesslich die räthselhaften Rillen; oft 300—500 km lange, enge und tiefe Schluchten und Kanäle; gewöhnlich gerade, oft verzweigt, nicht selten einander schneidend und selbst alle Wälle, Rücken oder Gruben auf ihrem Wege ohne Unterbrechung durchsetzend. Sie finden sich in allen Gegenden und Formationen und spotten bei ihrer grossen Zartheit aller Versuche, Natur und Entstehung zu erforschen. Die Aehnlichkeit mancher nach Form und Lage mit ausgetrockneten Flussbetten scheint Neison nicht zufällig zu sein; andere deuten nach Schmidt hingegen auf vulkanische Entstehung. Ihre Anzahl ist seit Schröter von 11 schon nahe auf 1000 gestiegen."

Fig. 6.



Höhen der Mondberge sind seit Galilei, der zur Lösung dieser Aufgabe sofort den richtigen Weg vorzeichnete [130], häufig gemessen worden, doch haben solche Bestimmungen nur einen relativen Werth, da das für irdische Höhenmessungen von selbst sich darbietende Meeresniveau hier fehlt, so dass die angegebene Zahl lediglich festsetzt, um wieviel Längeneinheiten eine Bergspitze sich über die umgebenden Niederungen erhebt. Die Methode der Messung kann eine doppelte sein. Befindet sich ein Kegelberg gerade am Rande der Mondscheibe, so lässt sich mittelst einer mikrometrischen Vorrichtung der Bogenwerth des Berges in seinem Verhältniss zu dem scheinbaren (sphärischen) Radius der Scheibe bestimmen, woraus dann durch einfache Rechnung das Verhältniss der entsprechenden linearen Grössen hergeleitet werden kann. Andererseits muss die Zeit beobachtet werden, welche von dem Augenblicke an, wo ein der Nachtseite des Mondes angehöriger Gipfel zuerst in den Strahlen der aufgehenden Sonne erglänzt, bis zu dem weiteren Augenblicke verstreicht, da die sehr scharf abgegrenzte Schattenlinie bis an den Lichtpunkt selbst herangerückt ist. Nach

Neison erheben sich die Berge im Durchschnitt von 900—1500 m, einzelne bis zu 2460 m, ja die Hochplateau's erreichen sogar eine relative Höhe von 6150 m. Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Unebenheiten im Relief der Mondoberfläche die reine Kugelform des Mondkörpers in weit höherem Maasse beeinträchtigen, als diess für die Erde der Fall ist.

Unsere Fig. 6, die einer Schmidt'schen Skizze nachgebildet ist, sucht einen Ueberblick über die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der lunaren Gebirgswelt zu geben; sie stellt das vom Ringgebirge Campanus (oben in der Figur) ausgehende und am Hippalus vorüberstreichende Rillensystem dar und lässt einen Einblick in den sozusagen unmotivirten Verlauf dieser Gebilde thun. Aber auch gewisse vulkanische Gegenden der Erde weisen Züge auf, die denen des Mondes geradezu verwandtschaftlich sind. Namentlich die Inseln des grünen Vorgebirges sind reich an Konglomeraten kleinerer Kraterkegel, deren Gesammteindruck derselbe ist, wie bei einer Mondlandschaft;

Fig. 7.



Fig. 7, eine Reproduktion der zweiten Tafel in Dölter's trefflicher Monographie jener Inselvulkane [131], mag zum besten Belege dienen.

§. 11. **Der lunare Vulkanismus und die physischen Veränderungen der Mondoberfläche.** Ueber den Zusammenhang gewisser Gebirgsformen des Mondes mit der Aktion vulkanischer Kräfte kann wohl kein Zweifel mehr obwalten, wohl aber über die näheren Modalitäten der fraglichen Kraftäusserung. Das achte Kapitel des Werkes von Nasmyth und Carpenter ist wesentlich der Entwickelung einer neuen, speziell den lunaren Verhältnissen angepassten Theorie der vulkanischen Erscheinungen gewidmet, welcher der Rezensent Leipoldt [132] nur eine bedingte Gültigkeit zugestehen kann. Da wir in der dritten Abtheilung dieses unseres Lehrbuches vom terrestrischen Vulkanismus des Näheren handeln müssen, so werden wir vorläufig nur jene Punkte berühren, welche eben nach der Meinung der englischen Selenographen eine Verschiedenheit zwischen Erde und Mond erkennen lassen.

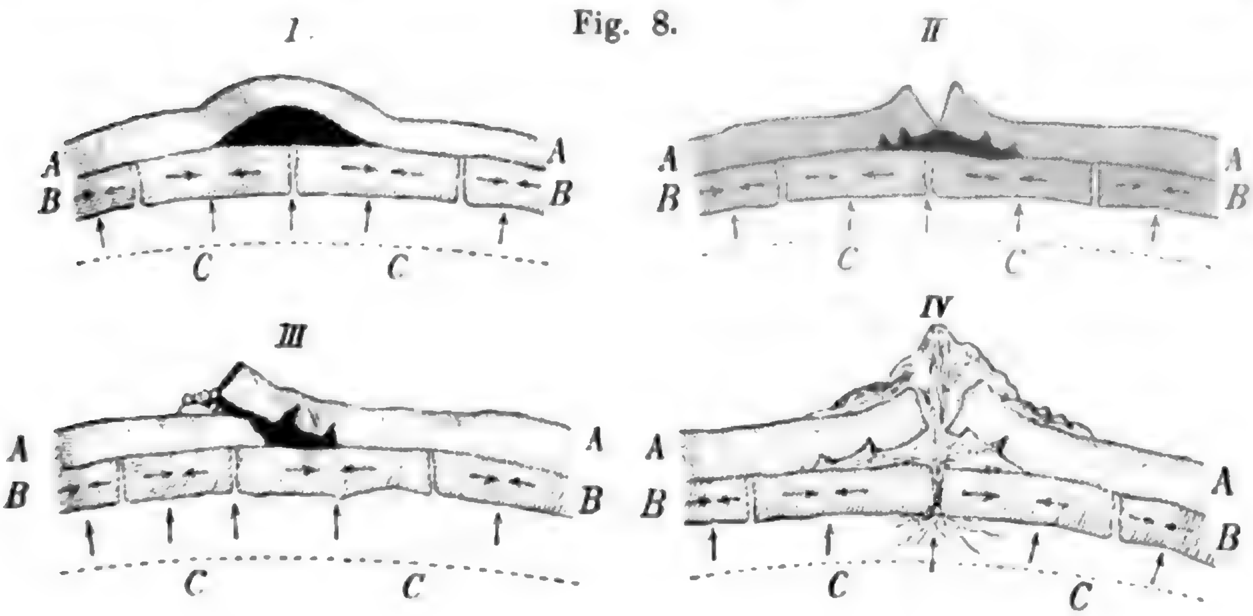
Dem Wasserdampf darf nach dieser Theorie so gut wie gar keine einflussreiche Rolle zugewiesen werden, so sehr auch die Vulkanforscher

gewohnt sind, ihn eine solche spielen zu sehen, denn der Mond besitzt ja nicht nur jetzt kein Wasser, sondern er hat auch in früheren Jahren nie mehr als eine minimale Quantität inne gehabt. Ein hinlänglich stichhaltiger Beweis scheint von Nasmyth und Carpenter für diese These freilich nicht erbracht worden zu sein. Die Basis der neuen Lehre ist von Letzteren schon im dritten Kapitel ihres Werkes [133] gelegt worden, und zwar ist sie wesentlich dieselbe, auf welcher auch die modernsten Theorieen der Gebirgsbildung beruhen. Die ursprünglich gluthflüssige Masse des Mondes erkaltete und zog sich zusammen, da aber mit der Erstarrung eine Ausdehnung der Körper eintrete, so sanken die Oberflächenstoffe nicht etwa in dem feurigen Brei unter, sondern um diesen herum bildete sich eine starre Kruste, welche von der darunter befindlichen Flüssigkeit, sobald deren obere Schichten dem Festwerden näher kamen, an vielen Stellen durchbrochen und zerrissen werden musste. Damals, als die beiden Briten schrieben, konnten sie sich zunächst nur auf Mallets bekannte Untersuchungen berufen, die allerdings noch nicht beweiskräftig genug waren und namentlich wegen ihrer Zuhülfenahme einer unbekannten mystischen Kraftwirkung („repellent force") bei den Physikern nur sehr getheilten Beifall zu finden fähig sich zeigten [134]. Die neue, exakte Versuchsreihe, welche Nies und Winkelmann kürzlich publizirt haben [135], dient nun freilich der Mallet'schen Theorie zu einer so willkommenen Bestätigung, wie sie kaum erwartet werden durfte. Beide Forscher konnten sich nur auf wenige Vorarbeiten von Réaumur, Marx u. a. stützen und fanden bei Durchmusterung der Literatur, dass noch kein Metall von Allen, die es geprüft hatten, im gleichen Sinne beurtheilt worden war; sie unterwarfen deshalb Zinn, Kupfer, Blei, Zink, Wismuth, Kadmium, Antimon, Eisen, Silikate und gewisse Legirungen einer erneuten Prüfung. Da ergab denn [136] der Fundamentalversuch, dass, Blei und Kadmium ausgenommen, bei jedem Metalle der Uebergang vom flüssigen zum festen Zustande mit einer Ausdehnung verbunden ist, dass also das feste Metall ein geringeres spezifisches Gewicht besitzt, als das schmelzflüssige [136]. Was die Legirungen betraf, so ergab die auf gleiche Art angestellte Untersuchung weit weniger zuverlässige Resultate, indem ein als Gussstück aus der flüssigen Masse herausgehobener Bestandtheil nicht nothwendig mit jener eine gleichheitliche Zusammensetzung haben muss. Auch für die Silikate liegt noch keine endgültige Entscheidung vor, doch scheint auch für sie nach Lang eine Ausdehnung wahrscheinlicher zu sein, als die von Bischof behauptete Zusammenziehung, und somit ist der landläufigen Theorie, dass der Kern eines ursprünglich gluthflüssigen Weltkörpers fest sein müsse, eine kräftige Stütze entzogen [137]. Von dieser Seite her hat somit die Nasmyth-Carpenter'sche Theorie, zu der sich im Wesentlichen auch H. J. Klein [138] bekennt, keine bedenkliche Gegnerschaft zu erwarten, wohl aber darf man einwerfen, dass durch ein blosses Emportreiben feuriger Massen allenfalls die Bildung eines homogenen Vulkanes, nicht jedoch die eines zerrissenen Kraters leicht zu erklären sei. Auch mit der Erosionsthätigkeit der Lavaströme wird sich nicht Jedermann befreunden können.

Betreffs der Art und Weise, wie man sich den angedeuteten Anschauungen gemäss die Entstehung eines Mondvulkanes zu denken

habe, sei auf Fig. 8 verwiesen. C stellt in allen vier Fällen das im flüssigen Gluthzustande befindliche Innere des Mondes dar, B eine zunächst anliegende, von vertikalen Kanälen durchsetzte Schicht der Kruste, in welcher die durch die horizontalen Pfeile versinnlichten Spannungen herrschen, A endlich eine oberflächliche Schicht. Durch die Zusammenziehung der tiefer liegenden Flüssigkeitsmasse entstehen Runzelungen der äusseren Kruste, die in Fig. 8, I blos zu einer wellenförmigen Falte geführt haben, unter welcher sich ein Hohlraum bildete. Erfolgte die Faltung energischer, so ergab sich ein Bruch (Fig. 8, II), aus welchem auch eine theilweise Verschiebung und Ueberschiebung der Ränder (Fig. 8, III) resultiren konnte. Traf es sich nun endlich so, dass der in Fig. 8, II dargestellte Riss gerade der Oeffnung einer mit dem Inneren kommunicirenden Spalte gegenüber erfolgte, so schob sich ein Theil des Gluthbreis in den Hohlraum vor, füllte, wie man aus Fig. 8, IV ersehen kann, zunächst diesen aus und drang aus ihm durch die Bruchstelle an die Aussenseite empor, wo sich eine glockenförmige

Fig. 8.



Aufschüttung mineralischer Stoffe bildete, die natürlich bald erstarrte. Im Grossen und Ganzen kann dieser Theorie eine gewisse Berechtigung wohl nicht abgesprochen werden, nur glauben wir daran festhalten zu müssen, dass das zerklüftete Aussehen der Mondvulkane nicht durchweg mit ersterer harmonirt.

Originell darf auch die vulkanistische Erklärungsweise genannt werden, welche Nasmyth und Carpenter [139] für die sogenannten Strahlensysteme geben, helle Striche, die von einzelnen grösseren Kratern radial nach allen Seiten hin auslaufen und oft über 1000 km weit sich erstrecken. Namentlich bei dem grossen Gebirge Tycho ist dieses Radialsystem derart ausgebildet, dass es auf einer kleineren Mondkarte völlig den Eindruck einer Schaar von Meridianen erweckt, die in dem Pole einer künstlichen Himmelskugel zusammenlaufen. Wenn man nun im Laboratorium eine hohle und mit Wasser gefüllte Glaskugel zum Zerspringen bringt, indem man sie dem Gefrieren aussetzt*),

*) Man erinnere sich, dass Wasser seine Maximaldichte bei 4° erreicht und somit im Momente des Gefrierens sich energisch ausdehnt. Näheres darüber bringt die Lehre vom Gletschereis.

so zerspringt die Kugel nur selten in mehrere getrennte Stücke, sondern von einem bestimmten Punkte des geringsten Widerstandes aus strahlen die entstehenden Risse nach allen Seiten aus, und ähnlich soll der Process auch auf dem Monde sich vollzogen haben. Zwischen den mysteriösen Rillen und den soeben geschilderten Strahlensystemen statuiren die englischen Naturforscher eine gewisse Verwandtschaft. Jedenfalls scheint die Erklärung, welche die Strahlen mit Sprüngen der sich zusammenziehenden Mondkruste identificirt, sich besser den Thatsachen anzuschmiegen, als die von Lamey [140] gegebene. Derselbe hält nämlich dafür, dass bei heftigen Gasausbrüchen aus der Tiefe geschmolzene Massen in Fülle mit emporgerissen würden, die alsdann nach allen Seiten hin niederfielen; dadurch erklärten sich die häufigen, in weisslichem Glanze schimmernden Unterbrechungen und die auffälligen Verschiedenheiten in der Lichtstärke. Allein die ungeheure Ausdehnung einzelner Strahlen lässt sich mit dieser Entstehungshypothese nicht vereinigen.

Wenn frühere Forscher über die vulkanischen Ereignisse auf dem Monde debattirten, so litten sie immer unter dem ungünstigen Erfahrungsmaterial, über welches allein zu verfügen war. Eine der lehrreichsten Abhandlungen über den Gegenstand ist diejenige Kant's „Ueber die Vulkane im Monde“ [141]. Wir ersehen aus derselben, dass Don Ulloa's Nachricht über ein von jenseits erleuchtetes Loch, das er in der Mondkugel wahrgenommen haben wollte [142], damals viel Staub aufwirbelte, dass man die freilich nur halb geglaubte Notiz mit Vulkanen in Verbindung brachte und vielfach erfreut war, durch W. Herschel's Beobachtung vom 4. Mai 1783 endlich einen wirklichen Beweis für die Existenz thätiger feuerspeiender Berge auf unserem Trabanten beigebracht zu sehen. Aepinus, Beccaria und Lichtenberg sprachen sich in diesem Sinne aus, nur Kant selbst blieb Skeptiker und wandte sich insbesondere gegen Beccaria's Auffassung der Strahlensysteme als Ströme erhärteter Lava. In Kap. II, §. 13 haben wir uns überzeugt, wie kurze Zeit ein enthusiastischer Eifer für die Zurückführung der Meteorfälle auf die Thätigkeit des lunaren Vulkanismus herrschte, der freilich vor der nüchternen Kritik der Rechnung nicht auszudauern vermochte. Schröter gab sich sodann die erdenklichste Mühe, physische Veränderungen auf der Mondoberfläche nachzuweisen, und er glaubte schliesslich auch auf einige Früchte seines Fleisses hinweisen zu können, allein Klein belehrt uns, dass von sämmtlichen Angaben des Lilienthaler Astronomen höchstens eine einzige, und diese nur bedingt, als richtig angenommen werden dürfte [143]. Die Männer der Wissenschaft begegneten deshalb bis zu unseren Tagen allen neueren Berichten über physische Umgestaltungen einzelner Theile des Mondes mit dem äussersten Misstrauen [144]; es ist diess an sich gewiss völlig gerechtfertigt, indem ein Zuviel immer minder schädlich wirken wird, wie ein Zuwenig.

Gleichviel haben sich neuerdings auch Stimmen im entgegengesetzten Sinne vernehmen lassen, und zwar gehen dieselben von angesehenen Mondtopographen aus, die in diesem heiklen Falle wohl allein als zur Abgabe eines vollwichtigen Urtheiles geeignet erscheinen dürften. H. J. Klein machte auf fünf lunare Oertlichkeiten aufmerksam, betreffs deren seine Beobachtungen mit den vorhandenen guten

Karten eines Mädler, Lohrmann u. s. w. durchaus nicht in Einklang zu bringen waren, und zumal am Krater Hyginus schien eine Neubildung ausser allem Zweifel zu stehen [145]. Neison, der seiner eigenen Aussage nach anfänglich gar nicht geneigt war, Modifikationen der ihm aus gründlichstem Studium wohlbekannten Mondgegend zuzugestehen, trat nach nochmaliger Prüfung des Sachverhalts in einer eigens zu diesem Zwecke verfassten grösseren Arbeit für die Richtigkeit der Klein'schen Behauptung ein [146]. Endlich hat sich ein dritter Selenograph allerersten Ranges, Jul. Schmidt, ganz vor Kurzem entschieden mittelst eines an Klein gerichteten offenen Briefes für die Realität der am Hyginus entdeckten Metamorphose ausgesprochen [147].

Ein unbedingt anzuerkennender Beweis dafür, dass diese Veränderungen auf die Manifestirung vulkanischer Kräfte zurückgeführt werden müssten, liegt allerdings noch nicht vor. Man hat zur Zeit noch ein Recht, an blos mechanische Kraftäusserungen, an Bergschlipfe oder auch an Zertrümmerungen zu denken, welche in dem grellen Unterschiede in der Insolation und Erwärmung zur Tag- und Nachtzeit ihren Grund hätten. Nachdem — namentlich durch die „Selenographical Society" — die Parole ausgegeben worden ist, dass möglichst ausschliesslich blos Mondlandschaften von geringer Ausdehnung, dafür aber unter den allerverschiedensten Beleuchtungsverhältnissen, dem Studium zu unterwerfen seien, dürfen wir wohl in Bälde weiterer Erfahrungsthatsachen gewärtig sein. Jedenfalls macht uns die Hypothese eines annoch thätigen vulkanischen Lebens auf dem Monde allein schon der Umstand mundgerechter, dass J. Schmidt sich zu ihr bekennt, ein Gelehrter, dessen Bekanntschaft mit den lunaren Erscheinungen eine ebenso gründliche ist, wie mit den Erscheinungen, welche aus den Reaktionen des glühendflüssigen Erdinneren gegen die umhüllende Kruste sich ergeben *).

---

* Es mangelt natürlich auch nicht an anderweiten Hypothesen, welche die Oberflächenform des Mondes ohne Beiziehung des Vulkanismus befriedigend zu erklaren sich vorgesetzt haben. Schmick bringt jene mit seiner uns im Umrisse bereits bekannten Ueberfluthungslehre (§. 6) in Verbindung, indem die Gravitation der so nahen Erde auf dem gluthflüssigen Balle des Trabanten die heftigsten Gezeitenbewegungen hervorgerufen hätte [148]. Ein Anonymus [149] kündigt der Eruptionstheorie um deswillen Fehde an, weil die umherliegende Gebirgsmasse dem Volumen des Kraters an Grösse durchaus nicht entspreche; die Maare und die neuseeländischen Kraterseen würde freilich das nämliche Argument treffen. Kosmische Körper, Meteore, die früher in noch weit grösserer Menge den Weltraum durchzogen haben sollen, trafen auf den noch im Zustande feurigflüssiger Wallung befindlichen Mond, sanken in dessen Masse unter und veranlassten rings um die Stelle ihres Untertauchens eine Aufstülpung der Schmelzflüssigkeit, welche dann beim Erstarren das Aussehen eines Bergwalles gewinnen musste. Asterios führt seine Theorie immerhin weit besser durch, als diess kosmologische Reformer im Allgemeinen zu thun pflegen, doch gelingt es nicht, alle Blössen derselben zu verdecken, wie Geinitz in seiner Besprechung des Schriftchens zur Genüge nachgewiesen hat [150]. Eine anmuthige Abwechselung bringt in dieses Spiel mit Hypothesen A. Meydenbauer [151], der dem Mond den flüssigen Aggregatzustand auch für die frühesten Zeiten abspricht (der Mond ist ihm zufolge „das nackte unveränderte Produkt eines sekundären Kugelwirbels"), dabei aber doch den in der Einkleidung des Asterios noch immer etwas wahrscheinlicher klingenden Satz aufstellt: „Die Mondoberfläche dankt ihre Beschaffenheit dem Sturze staubförmiger Massen auf eine staubförmige Unterlage."

§. 12. **Die Frage nach der Bewohnbarkeit der Himmelskörper.** Der Zweck dieses Kapitels war, darzuthun, dass durch genauere Betrachtung der physikalischen Verhältnisse solcher Planeten, welche unter ähnlichen kosmischen Existenzbedingungen, wie die Erde selbst, ihre Bahn um die Sonne, — sei es selbstständig, sei es in der Gefolgschaft eines anderen Körpers — beschreiben, manch beachtenswerther Gesichtspunkt auch für die tellurische Naturforschung zu gewinnen sei. Der Geograph, für den die Wechselbeziehungen zwischen Natur und Menschheit von jeher ein anziehendes Problem gebildet haben, nimmt deshalb auch ein gewisses Interesse an der Frage, ob Organismen von der Art, wie wir sie durch irdische Erfahrungen ganz allein kennen lernen konnten und noch können, möglicherweise auch noch andere Körper im weiten Universum bewohnen oder ob deren Existenz mit unserem Planeten für unzertrennlich zu halten sei.

Schon die Alten haben diese Frage gelegentlich gestreift; ernstlicher ist an dieselbe der treffliche Huygens in einem selbstständigen Werke [152] herangetreten, welches freilich des wissenschaftlichen Aufputzes unerachtet mit den sonstigen Leistungen gerade dieses Mannes nicht in eine Linie gestellt werden darf. Theilweise berührte sich mit ihm der Anlage nach die „Himmelsreise" des Athanasius Kircher [153], doch beschrieb dieser nur im Allgemeinen den landschaftlichen Charakter der einzelnen Planeten und enthielt sich aus theoretischen Gründen, denselben auch Lebewesen zuzutheilen. „Die Entscheidung des Sieges der heliocentrischen Physik durch Newton", bemerkt Zöckler [154], „zieht den Sieg der vorher theilweise heftig angefeindeten Annahme bewohnter Welten alsbald nach sich." Den umfangreichen Mittheilungen Zöckler's ist auch ein Theil dessen entnommen, was wir noch über die Geschichte der Pluralitätshypothese — dieser Name beginnt sich mehr und mehr einzubürgern — beizubringen gewillt sind. Wilkins, Goodwin, der Lustspieldichter Gherardi mit seiner Posse „Arlequin l'Empereur dans la lune" (1684) bevölkerten den Mond mit Organismen, was den Pater Daniel zu einer gelungenen Satyre veranlasste [155]. Höher an wissenschaftlichem Werthe steht Fontenelle's formvollendete astronomische Novelle [156], deren Schlussergebniss für jene Zeit auch passiren mag: auf den Planeten giebt es gewiss menschenähnliche Wesen, auf dem Monde vielleicht, auf der Sonne ganz gewiss nicht. Die englischen Naturtheologen, Newton selbst eingerechnet, ein Whiston, Derham, Burnet dachten ähnlich, auch Leibniz und Chr. v. Wolf gehörten zu dieser Schule, und Swinden verlegte in die Sonne den Wohnplatz der Verdammten [157]. Scharfsinniger und zutreffender, wenn schon nach unseren modernen Begriffen etwas phantastisch, waren die Betrachtungen Bonnets und Kant's [158]. Selbst das ausgehende XVIII. Jahrhundert sah noch so sonderbare Spekulationen, wie diejenigen eines E. G. Fischer [159], der unter gewissen Voraussetzungen in den Kometen eine geeignete Wohnstätte für Menschen erblickte, oder eines Bode [160], der die für die Hohlheit anthropomorphischer Gottesverehrung bezeichnende Aeusserung über das Planetensystem that: „Wozu alle diese Einrichtungen, wenn nicht vernünftige Wesen von diesem nächtlichen Scheine" — der Hauptplaneten — „Nutzen ziehen sollten?" Man mag jedoch über solche Ausschreitungen noch so hart urtheilen, so

sind dieselben doch noch weit dem engherzigen Philisterthum der Hegel'schen Schule vorzuziehen, für welches es im Weltraum ausser der Erde gar keinen der Beachtung würdigen Gegenstand giebt [161].

Einen sehr lesenswürdigen Essay „über die Pluralität der Welten“ hat Peschel geschrieben [162]. Wir lesen dort, dass Payne die Hypothese als den christlichen Glauben gefährdend verwarf, Chalmers dagegen, einen alten Gedanken Swedenborg's aufgreifend, das Paradies auf einen fernen Planeten verlegte. Brewster hielt die Annahme mehrerer Welten gleichmässig für ein Bedürfniss des Philosophen wie des Christen und nahm als Anhänger der Wilson-Herschel'schen Hypothese sogar den Sonnenkörper keineswegs aus; hierin traf er mit Arago zusammen. Vom astronomischen Standpunkt aus bekannten sich Jakob und Baden Powell für die Pluralität, wogegen Whewell in einer besonderen Schrift [163] das Bekenntniss des strenggläubigen Antipluralisten formulirte. Mit der Darwin'schen Theorie ist die uns hier beschäftigende Frage in engen Zusammenhang von Du Prel [164] gebracht worden.

Fasst man die Sache objektiv und wählt eine präcise Fragestellung, so kann dieselbe doch nur folgendermassen lauten: Auf welchen Planeten — denn die Sonne fällt selbstverständlich ganz ausser Betracht — sind die atmosphärischen und Gravitationsverhältnisse, die Modalitäten der Insolation und der von der Neigung der Planetenaxe zur Bahnebene abhängige Wechsel der Jahreszeiten in grossen Zügen denjenigen der Erde vergleichbar, so dass allenfalls dorthin versetzte Menschen und höher organisirte Thiere ihr Dasein zu fristen im Stande wären? Es bedarf nach den Ausführungen dieses Kapitels nicht mehr des besonderen Nachweises, dass lediglich Mars und Venus den Namen erde-ähnlicher Planeten verdienen, wie schon von verschiedenen Autoren — z. B. von Whewell — hervorgehoben wurde [165]. Wir mögen uns etwa vorstellen, dass ein Polarbewohner am Aequator des Mars und ein Tropenbewohner in den Polarregionen der Venus sich leidlich wohl fühlen könnten. Weitere Erörterungen hierüber dürften der strengen Wissenschaft kaum geziemen.

[1] Newcomb, Populäre Astronomie, deutsch von Engelmann, Leipzig 1881. S. 323 ff. — [2] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 188. — [3] Mädler, Populäre Astronomie, 7. Aufl., bes. v. Klinkerfues, Strassburg 1882. S. 141. — [4] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 398. — [5] J. J. v. Littrow, Theoretische und praktische Astronomie, 2. Band, Wien 1824. S. 247. — [6] Seidel, Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn, verglichen mit Sternen, und über die relative Weisse ihrer Oberflächen, München 1859. S. 16. — [7] Zöllner, Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper, Leipzig 1865. S. 154. — [8] Mädler-Klinkerfues, Popul. Astron. S. 142. — [9] Bianchini, Hesperi et Phosphori nova phaenomena, sive observationes circa planetam Veneris, Romae 1728. — [10] Mädler-Klinkerfues, Popul. Astron. S. 143 ff. — [11] De Vico, Osservazioni fatte nella specola dell' università Gregoriana in Collegio Romano, Romae 1842. — [12] Safařik, Ueber die Sichtbarkeit der dunklen Halbkugel der Venus, Prag 1873. — [13] Winnecke, Mittheilung unbeachteter Beobachtungen der Nachtseite der Venus, Vierteljahrsschr. d. astronom. Gesellsch., 11. Jahrgang. S. 77 ff. — [14] Mädler-Klinkerfues, Popul. Astron. S 147. — [15] Lyman, On Venus as a luminous ring. Philos. Mag., Vol. IL. S. 159 ff. — [16] Neison, On the atmosphere of Venus, Monthly notices of the

r. astr. soc., XXXVI. S. 347 ff. — [17] Schröter, Beobachtungen über die Gebirge und die Rotation der Venus, Erfurt 1793; Aphroditographische Fragmente, Helmstädt 1796. — [18] Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., 9. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1840. S. 1649. — [19] Schorr, Der Venusmond, Braunschweig 1875. — [20] Newcomb, Popul. Astron. S. 329. — [21] J. J. v. Littrow, Die Wunder des Himmels, 1. Band, Stuttgart 1865. S. 367. — [22] Newcomb, Popul. Astron. S. 353. — [23] Hartwig, Untersuchungen über die Durchmesser der Planeten Venus und Mars nach Heliometermessungen auf der provisorischen Universitätssternwarte zu Strassburg, Leipzig 1879. S. 71. — [24] Ibid. S. 51. — [25] Hennessy, Sur la figure de la planète Mars, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XC. S. 1419 ff. — [26] Newcomb, Popol. Astron. S. 354. — [27] Zöllner, Phot. Unters., S. 131. — [28] Mädler-Klinkerfues, Popul. Astron. S. 212. — [29] Newcomb, Popul. Astron. S. 357. — [30] Mädler-Klinkerfues, Popul. Astron. S. 222. S. 218. — [31] A. Hall, Observations and orbits of the satellites of Mars with data for ephemerids in 1879, Washington 1878. — [32] Ibid. S. 44 ff. — [33] Schyrlaeus de Rheita, Novem stellae circa Jovem visae, circa Saturnum sex, circa Martem nonnullae, a P. Ant-Rheita detectae, Lovanii 1643. — [34] D'Arrest, Notiz über die Unwahrscheinlichkeit, einen Marsmond in grosserer Entfernung vom Planeten zu entdecken, Astr. Nachr. (2) N. 64. — [35] Henry, Dépêche annonçant la découverte de deux satellites de Mars, par A. Hall, à Washington, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXXV. S. 437. — [36] Newcomb, Popul. Astron. S. 258. — [37] Houzeau-Lancaster, Bibliographie générale de l'astronomie, tome II., Bruxelles 1880. S. 328 ff. — [38] Terby, Aréographie ou étude comparative des observations faites sur l'aspect physique de la planète Mars depuis Fontana (1636) jusqu'à nos jours, Mondes (2) XXXVII. S. 384 ff. — [39] H. J. Klein, Handbuch der allgemeinen Himmelsbeschreibung, vom Standpunkte der kosmischen Weltanschauung dargestellt, 1. Band, Braunschweig 1869. S. 137 ff. — [40] Hevelius, Selenographia sive lunae descriptio, Gedani 1647. S. 66. — [41] Terby, Areographische Fragmente, manuscrits et dessins originaux et inédits de l'astronome J. H. Schröter, de Lilienthal, Bruxelles 1873; J. H. Schröter, Areographische Beiträge zur genaueren Kenntniss und Beurtheilung des Planeten Mars; nach dem Manuskripte auf der Leydener Sternwarte herausgegeben von H. G. van de Sande-Bakhuyzen, Leyden 1881. — [42] Beer-Mädler, Physicalische Beobachtungen des Mars in der Erdnähe, Berlin 1830. — [43] Linsser, Correspondenznachrichten aus Russland, Wochenschr. f. Astron., Meteorol. u. Geogr., (2) 7. Jahrgang. S. 117 ff. — [44] Kaiser, Untersuchungen über den Planeten Mars, bei dessen Oppositionen in den Jahren 1862 und 1864, Ann. d. Sternw. zu Leyden, 3. Band. S. 1 ff. — [45] Proctor, Stereograms of Mars with a chart of Mars in Mercator's projection, London 1869. — [46] Schiaparelli, Osservazioni astronomiche e fisiche sull' asse di rotazione e sulla topografia del pianeta Marte, fatte nella reale specola di Brera in Milano coll' equatoriale di Merz durante l'opposizione del 1877, Roma 1878. — [47] Remeis, Schiaparelli's Untersuchungen der Oberfläche des Planeten Mars während dessen Erdnähe im Jahre 1877, Gaea, 15. Jahrgang. S. 92 ff. S. 151 ff. — [48] Boddicker, Ueber die physische Beschaffenheit der Oberfläche des Planeten Mars, Mittheil. d. mathem. Gesellsch. zu Hamburg, N. 22. — [49] Holetschek, Die Oberfläche des Mars nach Schiaparelli, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 1. Jahrgang. S. 499 ff. — [50] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 673 ff. — [51] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 144. — [52] Kaiser, Untersuch. etc. S. 54. — [53] Secchi, Memorie dell' osservatorio del Collegio Romano, Roma 1859. S. 17. — [54] Mädler-Klinkerfues, Popul. Astron. S. 220. — [55] Holetschek, Die Oberfl. etc. S. 501. — [56] Ibid. S. 505. — [57] Ibid. S. 507 ff. — [58] Ibid. S. 503. — [59] Günther, Studien etc. S. 158 ff. — [60] Schmick, Der Planet Mars eine zweite Erde, nach Schiaparelli, Leipzig 1879. — [61] A. Kirchhoff, Recension hiezu, Leopoldina 1881. S. 27 ff. — [62] Lambert, Sur la lumière cendrée de la lune, Mém. de l'acad. r. de Berlin, Année 1773. S. 46. — [63] Newcomb, Pop. Astr. S, 340 ff. — [64] Mädler-Klinkerfues, Pop. Astr. S. 176. — [65] Chr. v. Wolf, Der Anfangs-Gründe aller mathematischen Wissenschaften dritter Theil, Halle 1717. S. 319. — [66] Newcomb, Pop. Astr. S. 241 ff. — [67] Jacobi, Ueber die Figur des Gleichgewichtes, Ann. d. Phys. u. Chem., 33. Band. S. 229 ff. — [68] Matthiessen, Neue Untersuchungen über frei rotirende Flüssigkeiten im Zustande des Gleichgewichtes, Kiel 1859. — [69] Roche, Mémoire sur les figures ellipsoidales qui conviennent à l'équilibre d'une masse fluide sans mouvement de rotation,

Compt. rend. de l'acad. franç., tome XXIV. S. 515. — [70] Laplace, Théorie du mouvement et de la figure elliptique des planètes, Paris 1784. — [71] J. Kant's Schriften zur physischen Geogr., herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 406. — [72] Zöllner, Ueber die Natur der Cometen; Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntniss, Leipzig 1883. S 275. — [73] Mädler-Klinkerfues, Pop. Astr. S. 206. — [74] Ibid. S. 170. — [75] Ibid. S. 174 ff. — [76] Fortschritte der Physik in der neuesten Zeit, (Baumgartner- v. Ettingshausen's) Zeitschr. f. Phys. u. Math., 2. Band. S. 80 ff. — [77] Bond, On the relative hightness of the sun and moon from observations made at the observatory of Harward College, Cambridge (Am.) 1861. — [78] Zöllner, Phot. Unters. S. 110. — [79] Kästner, Wie Körper leuchten, die kein eigenthümliches Licht haben; Averroes, Roger Baco, Euler, (Hindenburg's) Archiv f. reine u. angew. Mathem., 2. Band. S. 8 ff. — [80] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band, Stuttgart und Tübingen 1850. S. 496. — [81] Galilei, Sidereus Nuncius, Venetiis 1610. S. 26. — [82] Kepler, Ad Vitellionem Paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur, Francofurti 1604. S. 254. — [83] Venturi, Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonardo da Vinci. Paris 1797. S. 11. — [84] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 498. — [85] C. Plinii Secundi historiae naturalis libri XXXVII. lib. II, cap. 10. — [86] Kepler, Paralip. etc. S. 893. — [87] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 539. — [88] Melloni, Lettre à M. Arago sur la puissance calorifique de la lumière de la lune, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XXII. S. 541 ff. — [89] Earl of Rosse, On the radiation of heat from the moon, the law of its absorption by own atmosphere, and of its variation in amount with her phases, London 1873. — [90] J. H. Westphal, Leben, Studien und Schriften des Astronomen Johannes Hevelius, Königsberg 1811. S. 72. — [91] Chr. v. Wolf, Der math. Anf.-Gr. etc. S. 307 ff. — [92] H. J. Klein, Handbuch etc. 1. Band. S. 124. — [93] H. Müller, Quaestio curiosa physico-mathematica, an luna cingatur atmosphaera, Altdorfi 1710. — [94] Ibid. S. 10. — [95] Bessel, Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, herausgeg. von Schumacher, Hamburg 1848. S. 618. — [96] Jul. Schmidt, Karte der Gebirge des Mondes nach eigenen Beobachtungen, in den Jahren 1870—74 entworfen. Berlin 1878. S. 46 ff. — [97] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 544. — [98] Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde, herausgeg. v. Löwenberg, 2. Band, Leipzig 1878. S. 327. — [99] Ibid. S. 335. — [100] Dante Alighieri's göttliche Komödie, übers. v. Fr. Notter, 2. Band, Stuttgart 1872. S. 383 ff. — [101] Intorno ad uno passo della divina commedia di Dante Alighieri, lettera del prof. Ottavio Mossotti à B. Boncompagni, Atti dell' accad. pontif. dei nuovi lincei, tomo XVIII, Sessione del 7 maggio 1865. — [102] Boncompagni, Intorno alla precedente lettera del prof. Mossotti, ibid. — [103] Mädler, Geschichte der Himmelskunde von der ältesten bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Braunschweig 1872. S. 293. — [104] Favaro, Fra Paolo Sarpi fisico e matematico secondo i nuovi studi del prof. F. Cassani, Venezia 1883. S. 16. — [105] Quetelet, Histoire des sciences mathématiques et physiques chez les Belges, Bruxelles 1871. S. 249. — [106] J. H. Westphal, Leben etc. S. 69 ff. — [107] Ibid. S. 70. — [108] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 397. — [109] T. Mayer, Abhandlung über die Umwälzung des Mondes um seine Axe und die scheinbare Bewegung der Mondflecke, Kosmogr. Nachr. u. Samml. auf das Jahr 1748, Nürnberg 1750. — [110] Schröter, Selenotopographische Fragmente, 1. Theil, Lilienthal und Helmstädt 1791; 2. Theil, Göttingen 1802. — [111] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 237. — [112] Mädler-Klinkerfues, Pop. Astr. S. 194. — [113] W. G. Lohrmann, Mondkarte in 25 Sektionen und 2 Erläuterungstafeln, herausgeg. von Jul. Schmidt, Leipzig 1878. — [114] F. W. Opelt, Selenographische Ortsbestimmungen in Lohrmann's Topographie der sichtbaren Mondoberfläche, Dresden und Leipzig 1824. — [115] Mädler-Beer, Mappa selenographica, Berolini 1834—36. — [116] Mädler-Beer, Der Mond nach seinen kosmischen und individuellen Verhältnissen, oder allgemeine vergleichende Selenographie, Berlin 1837. — [117] Mädler, Kurzgefasste Beschreibung des Mondes, ein Auszug aus der grösseren Selenographie, Berlin 1839. — [118] Bessel, Pop. Vorl. S. 613 ff. — [119] Jul. Schmidt, Der Mond; ein Ueberblick über den gegenwärtigen Umfang und Standpunkt unserer Kenntnisse von der Oberflächengestaltung und Physik dieses Weltkörpers, Leipzig 1856. — [120] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 669. — [121] Nasmyth-Carpenter, The Moon considered as a planet, a world and a satellite, London 1874; deutsche Ausgabe von H. J. Klein, Leipzig 1880. — [122] Neison, The Moon and the conditions and configurations of its surface, London 1876; deutsche Ausgabe von H. J. Klein, Braunschweig 1878. — [123] M. Opelt, Der Mond, Leipzig 1879. — [124] R. Wolf,

Gesch. d. Astr. S. 666. — [125] Mädler, Gesch. d. Himmelsk. 2. Band. S. 512 ff. — [126] J. Russell, Proposals for publishing by subscription a globe of the moon, (Hindenburg's) Archiv f. reine u. angew. Mathem., 2. Band. S. 112 ff. — [127] H. J. Klein, Handb. etc. 1. Band. S. 105. — [128] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 671. — [129] Engelmann, Recension zu Neison, Vierteljahrsschr. d. astr. Gesellsch., 13. Jahrgang. S. 25. — [130] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 396. — [131] Dölter, Die Vulkane der Cap Verden und ihre Produkte, Graz 1882. — [132] Leipoldt, Recension zu Nasmyth-Carpenter, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 20 ff. — [133] Nasmyth-Carpenter, Der Mond, deutsch von Klein. S. 107 ff. — [134] Mallet, On volcanic energy, Phil. Transact., Vol. CLXIII. S. 201. — [135] Nies-Winkelmann, Ueber Volumveränderungen einiger Metalle beim Schmelzen, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., M.-ph. Kl. 1881. S. 63 ff. — [136] Ibid. S. 104 ff. — [137] Ibid. S. 109 ff. — [138] H. J. Klein, Ueber den Bau und die Entstehung der Mondoberfläche, Gaea, 12. Jahrgang. S. 65 ff. — [139] Nasmyth-Carpenter, Der Mond, deutsch v. Klein, S. 115 ff. — [140] Lamey, Sur les bandes rayonnantes de la lune, Mondes (2) XXXVI. S. 4 ff. — [141] J. Kant's Schriften etc. S. 391 ff. — [142] Don Juan Ulloa, El eclipse del sol con el anillo retractario de sus rayos: la luz de este astro vista del través de la luna, Madrid 1779. — [143] H. J. Klein. Veränderungen auf der Mondoberfläche. Gaea, 18. Jahrgang. S. 528. — [144] Valentiner, Bez. zu Neison, Z. f. Math. u. Ph., 25. Jahrg. H.-L. Abth. S. 138 ff. — [145] H. J. Klein, Veränderungen etc. S. 530. — [146] Neison, Der neue Krater bei'm Hyginus auf dem Monde. Gaea, 15. Jahrgang. S. 636 ff. — [147] Die vulkanischen Vorgänge auf dem Monde, Zeitschr. f. Schulgeogr., 4. Jahrgang. S. 40 ff. — [148] Schmick, Der Mond, Leipzig 1877. — [149] Asterios, Die Physiognomie des Mondes: Versuch einer neuen Deutung im Anschluss an die Arbeiten von Mädler, Nasmyth und Carpenter, Nördlingen 1879. — [150] Geinitz, Ueber eine neue Hypothese der Gebirgsbildung, Leopoldina 1883. S. 49 ff. S. 71 ff. — [151] A. Meydenbauer, Kant oder Laplace? Kosmologische Studie, Marburg 1880. S. 34. — [152] Huygens, Κοσμοθεωρος sive de terris coelestibus earumque ornatu conjecturae, Hagae Comitum 1698. — [153] Kircher, Iter ecstaticum coeleste seu opificium, quo coeli siderumque natura, vires et structura exponuntur, Romae 1656. — [154] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Rücksicht auf Schöpfungsgeschichte, 2. Abtheilung, Gütersloh 1879. S. 55. — [155] Ibid. S. 57. — [156] Fontenelle, Entretiens sur la pluralité des mondes, Paris 1686. — [157] Zöckler, Gesch. etc., 2. Abtheilung. S. 60. — [158] Ibid. S. 164 ff. — [159] E. G. Fischer, Betrachtungen über die Kometen, bey Gelegenheit der vermutheten Wiedererscheinung eines Kometen im Jahre 1789, Berlin 1787. S. 14 ff. — [160] Bode, Anleitung zur Kenntniss des gestirnten Himmels, Berlin 1806. S. 629. — [161] Zöckler, Gesch. etc., 2. Abtheilung. S. 431. — [162] Peschel, Abhandl. etc., 2. Band. S. 187 ff. — [163] Whewell, On the plurality of worlds, London 1853. — [164] Du Prel, die Planetenbewohner und die Nebularhypothese, Leipzig 1880. — [165] Peschel, Abhandl. etc., 2. Band. S. 194.

Zweite Abtheilung.

Allgemeine mathematische und physikalische Verhältnisse des Erdkörpers.

Kapitel I.

Die Erde als Kugel und Rotationssphäroid.

§. 1. **Allmählige Entwickelung der Sphäricitätslehre.** Die alte Okeanoshypothese des Homer, nach welcher sich die Erde als eine platte, vom Weltmeer umgebene Scheibe darstellte, behauptete bis zu den Zeiten des Herodot, der sich sehr spöttisch über die gegentheilige Annahme einer kugelförmigen Erde äusserte [1], ihre Existenz. Ganz konsequent dachte sich der grosse Historiker natürlich auch, dass die am Ostrande gelegenen Erdgegenden bei aufsteigender, die dem Westrande näheren bei sinkender Sonne am stärksten erhitzt würden [2]. In der That muss manche der Ansichten, die gelegentlich von Mitgliedern der jonischen und eleatischen, ja auch späterhin der stoischen und epikureischen Philosophenschule ausgesprochen wurden, noch für viel absurder gelten als der doch wenigstens auf naiver Autopsie beruhende Realismus Herodot's. Einzelne dachten sich die Erde linsenförmig, Leukipp gab ihr [3] die Form einer umgekehrten Pauke, selbst der weiterblickende Anaxagoras stand im Wesentlichen noch auf dem herodotischen Standpunkte [4], und als der weitgereiste Pytheas in seinem leider zu Verlust gegangenen Buche „über den Okeanos“ von selbstgesehenen Erscheinungen erzählte, deren Thatsächlichkeit allerdings mit keiner anderen Lehre, als mit derjenigen der Kugelgestalt, sich vereinigen lassen wollte, zweifelten die Meisten die Richtigkeit seiner Angaben einfach an [5]. Selbstverständlich konnte bei solchen Anschauungen auch die von der indischen Mythologie durch alle möglichen Kombinationen heiliger Thiere zu lösen versuchte Frage, worauf denn eigentlich der Erdkörper ruhe, nicht umgangen werden [6], und wenn Demokrit denselben auf (zusammengepresster) Luft aufliegen lassen wollte, so mochte immer noch Xenophanes' Ausspruch, dass die Erde nach unten zu im Unendlichen wurzle, während die Luft oben in's Unendliche sich erstrecke, einen gewissen Fortschritt

andeuten [7]. Dass Thales bereits die Sphäricität gelehrt habe, ist möglich, aber keineswegs gewiss, und jedenfalls ist Köler's Schluss (a. a. O.), man müsse diess wohl glauben, da sich sonst die Voraussagung von Finsternissen nicht begreifen lasse, für Niemanden ein zwingender, der mit dem Wesen der cyklischen Berechnung vertraut ist. Ganz zweifellose Anhänger der sphärischen Doktrin sind Pythagoras und Parmenides gewesen, von welch' letzterem auch die noch jetzt übliche Zoneneintheilung herstammt, indess war Peschel wohl im Rechte, wenn er bemerkte [8], die pythagoreische Schule habe sich minder von inneren Gründen, als vielmehr von „geometrischen Schicklichkeitsgründen" leiten lassen. Durch Aristoteles und Archimedes ward der Satz, dass die Erde eine vollkommene Kugel sei, zum Range einer festen wissenschaftlichen Wahrheit erhoben, und während des eigentlichen Alterthums ist keinerlei Widerspruch gegen diese allseitig anerkannte Thesis mehr laut geworden.

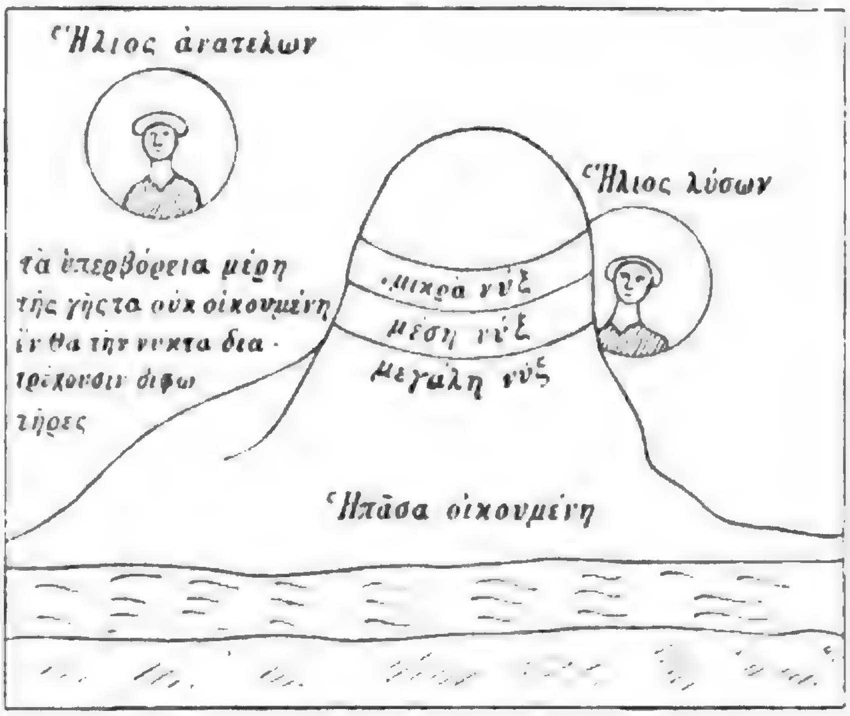
Erst der Verfall der Wissenschaften im beginnenden Mittelalter bahnte auch auf diesem Gebiete einen verhängnissvollen Rückschritt an. Theilweise trug hieran die Schuld die Neigung des Zeitalters, einen Wahn- und Wunderglauben an die Stelle ernster Gedankenarbeit zu setzen, theilweise muss man das Hereindringen rabbinischer Vorstellungskreise in das griechisch-römische Geistesleben dafür verantwortlich machen. Denn die Ausleger des Talmud gaben sich in kosmographischen Dingen, wie man aus einer lehrreichen Schrift von Bergel [9] ersehen kann, den verwunderlichsten Ideen hin. So kam es, dass von den Schriftstellern der Kirchenväterzeit namentlich die Orientalen bis zum Homer oder sogar bis zu einer noch kindlicheren Aera zurückkehrten; „Ephräm," sagt Zöckler, dessen Führung wir uns auch hier [10] vertrauend überlassen*), „Diodorus, Theodor von Mopsuestia, Acacius von Cäsarea, Chrysostomus, Severianus denken sich das Verhältniss des Himmels zur Erdfläche als das eines halbkugelförmigen oder gar flachen Daches zum überdachten Fussboden." Von den Autoren lateinischer Zunge verfällt namentlich der grosse Lactantius in den gleichen Irrthum [13], wofür ihn dann freilich ein frommer Sohn der katholischen Kirche, Coppernicus, einen kindischen Schriftsteller und sehr schwachen Mathematiker nennt [14]. Gregor von Nyssa und Augustin hielten sich von solchen Absurditäten ferne. Ein anonymer Geograph von Ravenna theilte [15] die Erde in eine Licht- und Schattenseite, beide durch hohe Gebirge getrennt, und der Indienfahrer Kosmas begründete auf diese altsyrische Schrulle ein neues kosmographisches System. Dasselbe ist häufig, schon von Montfaucon, in Diagrammen darzustellen versucht worden, doch kann als authentisch wohl nur jene Zeichnung gelten, welche wir nach Marinelli in Fig. 9 reproduciren, und die uns besser wie manche künstlerische Nachbildung die Sonderbarkeit dieser wissenschaftlichen Missgeburt vor Augen führt [16]. Noch im VIII. Jahrhundert hatte der Salzburger Bischof Virgilius heftige Anfeindung

---

*) Abgesehen von Zöckler's ausgezeichnetem Werke eignet sich für Jene, die leichter und rascher einen Einblick in die langsame und oft unterbrochene Entwickelung dieses Theiles unserer Disciplin gewinnen wollen, ein Aufsatz des Verf. [11] und die gelehrte Spezialschrift Marinelli's [12].

durch den heiligen Bonifacius und den von diesem beeinflussten Papst Zacharias zu erfahren, weil er die „iniqua haeresis“ vertrete, dass es Antipoden gebe [17]*). Doch griffen Männer von wirklicher Ge-

Fig. 9.



lehrsamkeit, Beda Venerabilis, Johannes Scotus Erigena u. a. immer entschiedener auf die ptolemäischen Grundlagen zurück, und damit war der Sieg der Sphäricitätslehre entschieden, an deren Richtigkeit in der scholastischen Zeit höchstens von ganz Unkundigen noch gezweifelt wurde. Ein Gleiches gilt von der Neuzeit; eine Reihe Kartenskizzen, die unlängst Sir John Hampden unter Voraussetzung einer planen Erde veröffentlicht und der Verf. [21] näher beschrieben hat, wird, wie man hoffen darf, ein Unikum verbleiben. Schon im XII. Jahrhundert erörtert ein gewisser Omons in altfranzösischem

*) Es soll hiebei nicht verschwiegen werden, dass katholische Schriftsteller apologetischer Tendenz die Sache so hinzustellen bestrebt sind, als habe man bei jenen Streitigkeiten über die Antipodenfrage deren mathematisch-geographische Seite völlig ausser Acht gelassen. Es sei jenen Theologen sehr gleichgültig gewesen, ob man die Erde als kugelrund anzusehen habe oder nicht; nur der Umstand, dass die Bibel nichts von jenen weit entfernten Völkern und von deren Erlösung melde, habe an der Existenz derselben gerechte Zweifel hegen lassen. Neuerdings hat der belgische Mathematiker Gilbert [18] eine gelehrte Streitschrift gegen des Verf. obengenannte Schrift vom Stapel gelassen; er hätte auch erwähnen können, dass der grosse Leonhard Euler von einem seiner Herausgeber energisch rektificirt worden war [19], weil er im achtundvierzigsten seiner Briefe an eine deutsche Prinzessin die Lehre von den Gegenfüsslern als eine in den Augen der Kirchenväter ketzerische bezeichnet hatte. Man mag aber sagen, was man wolle, uns scheint eben doch soviel sicher zu stehen, dass den meisten Gelehrten der Merovinger- und Karolingerzeit die Lehre von den Antipoden eine an sich falsche zu sein schien. Unverwerflicher Zeuge dess ist eine — aus Isidor entlehnte — Stelle in dem bekannten encyklopädischen Wörterbuch des Bischofs Salomo von Kostnitz (IX.—X. Jahrhundert) [20]: „Antipodes nulla ratione credendi sunt, quia nec soliditas patitur, nec centrum terrae, sed neque hoc ulla historiae cognitione firmatum, sed hoc poetae quasi ratiocinando conjectant.“ Man sieht, die — sozusagen — physikalischen Gegengründe kommen noch vor den geschichtlichen.

Idiom die Folgen, die sich ergeben würden, wenn zwei Menschen von irgend einem Orte aus mit gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung sich bewegen; sie würden an einem dem Ausgangspunkt diametral gegenüberliegenden Punkte zusammentreffen, oder, wie er sich ausdrückt [22]:

„Si que andui egaument alassent,
Il comendroit qu'il s'encontrassent
Dessus le leu dont il se mûrent.“

Wer so schrieb, dem stand die Kugelgestalt der Erde natürlich unverbrüchlich fest.

Es ist wahr, der Araber Abulfeda hatte noch früher die hierin liegende Wahrheit erkannt und dahin verallgemeinert, dass beim Umreisen der Erde ein Tag verloren oder gewonnen werden müsse [23], eine Wahrheit, die den Mannschaften der Magelhaens'schen Expedition sich zuerst praktisch fühlbar machte. Nach dem von Peschel [24] citirten Ibn el Wardi und nach gewissen Aeusserungen Kazwîni's [25] scheint es, dass auch im Orient die gesunde mathematische Theorie mit Wahngebilden aller Art einen Kampf zu bestehen hatte, doch rang sich die Wahrheit leichter durch, als bei den westlichen Zeitgenossen, und die Gelehrtenwelt wenigstens fühlte sich erhaben über die vulgären Meinungen; so führt ein Münchener Manuskript nach Steinschneider den Titel [26]: „Das Buch, dass Derjenige, der keine Uebung im Beweise hat, sich nicht vorstellen kann, dass die Erde kugelförmig sei und die Menschen rings um dieselbe seien.“ Abul Hassan Ali besitzt, wie uns Sédillot's verdienstliche Bearbeitung des von ihm verfassten Lehrbuches der astronomischen Instrumentenkunde bezeugt [27], eine klare Vorstellung von einem sphärischen Theoreme, deren Verständniss dem Laien auch heute noch vergleichsweise schwer zu vermitteln ist, von dem Unterschiede zwischen wahrem und scheinbarem Horizont. Der spanische Jude Isaak-ben-Josef-ben-Israel definirt um 1310 korrekt den Unterschied, welcher in der Parallaxe eines nicht allzuweit entfernten Himmelskörpers dadurch bedingt wird, dass man denselben entweder vom Erdmittelpunkt oder von der Oberfläche aus betrachtet [28]. In Fleisch und Blut des Volkes sind diese mehr esoterischen Doktrinen nun allerdings nicht übergegangen, noch im Anfange dieses Jahrhunderts hatten selbst hochgebildete Perser keine Ahnung von der Rundung der Erde [29].

Hingegen in einem noch östlicher gelegenen Lande, in Japan, hat diese Lehre schon vor mehr denn zwei Jahrhunderten Eingang gefunden. Heeren berichtet [30], dass ein dortiger Globenverfertiger schon um 1670 sein Unternehmen mit nachstehenden Worten begründete: „Bisher sah man die Erde als flach an; weshalb hast du nun die Erde rund dargestellt? So hat man mich gefragt. Ich habe geantwortet: in To-shio-shen steht geschrieben, die Erde ist rund, wie eine Kugel, darum habe ich sie so dargestellt.“ Auch den chinesischen Gelehrten ist diese Kenntniss wenigstens nicht ganz vorenthalten geblieben.

§. 2. **Gründe für die Kugelform des Erdkörpers.** In vielen, namentlich älteren Lehrbüchern pflegt eine grosse Anzahl solcher

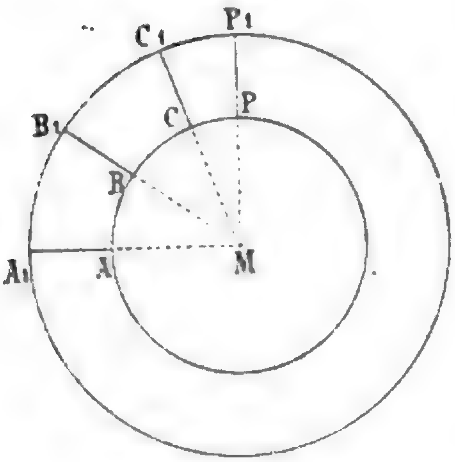
Gründe aufgeführt zu werden, die sich bei näherem Zusehen jedoch als sehr wenig stichhaltig erweisen. Es ist ein unbestreitbares Verdienst Birnbaum's [31], die kritische Sonde energisch an diese angeblichen Beweise angelegt zu haben*). Wenn z. B. darauf hingewiesen ward, dass auch die anderen Planeten als Scheiben erscheinen, so haften dieser Beweisart nicht weniger als drei Mängel an: erstens kann nach didaktischen Gründen von der Planetennatur der Erde schon deshalb kein Gebrauch gemacht werden, weil im Systeme der Beweis für jene doch erst an einer viel späteren Stelle zu erbringen ist, als derjenige für die Rundung, zweitens darf man nicht auf Thatsachen sich berufen, deren Feststellung dem unbewaffneten Auge unmöglich ist, und zum dritten endlich erscheinen nicht einmal alle Planeten — man denke an Saturn (Kap. II, §. 9 der vorigen Abtheilung) — als reine Scheiben. Auch Aristoteles gieng zu weit, wenn er aus der kreisförmigen Schattengrenze der theilweise verfinsterten Mondscheibe ein zwingendes Argument für die Erdrundung herleiten wollte, denn auch andere krummflächig begrenzte Körper, als nur die Kugel allein, vermögen einen annähernd oder wirklich kreisförmigen Schatten zu werfen. Auch der zweite mehr physikalische Schluss des Aristoteles, dass nämlich alle Materie um den Mittelpunkt des Universums herum in gleichen Entfernungen sich anordnen müsse, krankt an mehreren Gebrechen, so verdienstlich er auch für eine Zeit war, welche von dem Wesen der Schwerkraft noch keine rechte Vorstellung besass. Noch weit weniger taugt natürlich das Beweismittel der wirklichen Erdumseglungen, denn diese geben doch nur davon Zeugniss, dass die Aussenseite des Erdkörpers eine (im Riemann'schen Sinne) einfach zusammenhängende und von Ecken wie Kanten freie Oberfläche ist. Wissenschaftlich höher steht der vom Verschwinden und Auftauchen sich bewegender Körper hergenommene Beleg, denn wenn auf dem Meere oder einem grossen Landsee — nach J. Müller's sorgfältigen Beobachtungen zeigt schon der Bodensee die Erscheinung ganz deutlich [33] — von einem näher kommenden Schiffe zuerst die Mastspitzen, sodann die Segel und erst ganz zuletzt auch die einzelnen Theile des Schiffsrumpfes vor Augen treten, so kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, dass die Wasserfläche eine konvexe Krümmung besitzt, die freilich deshalb noch gerade keine sphärische zu sein brauchte. Die malayischen Seeräuber sind in ihrer Art mit der Rundung der Erde ganz wohl vertraut, denn Jagor, der genaue Kenner der hinterindischen Gewässer, berichtet [34]: „Die Piraten, gewöhnlich schon durch ihre Spione gewarnt, sehen den Rauch des Dampfbootes früh genug, um mit ihren flachen Kähnen zu entschlüpfen.“ Sie schlagen eben eine zu dem Kurse des Kriegsschiffes senkrechte Route ein und bergen sich so hinter der Erdwölbung wie hinter einem Dache.

Ein neues geistreiches Mittel, die Krümmung einer grösseren Wassermasse durch direkte Messung zu konstatiren, haben vor Kurzem die beiden waadtländischen Naturforscher Forel und Dufour an die Hand gegeben [35]. Wäre die Fläche eines See's eine glatte Ebene,

*) Namentlich in pädagogischer Hinsicht werthvoll sind zwei die Unzulänglichkeit der landläufigen Beweisversuche behandelnde Aufsätze von Fahle und Pick [32].

so müsste das Bild eines entfernten sich darin abspiegelnden Gegenstandes, mit einem Winkelmessinstrumente auf seine Dimensionen geprüft, genau eben so gross erscheinen wie das Objekt selbst, wenn aber jener Fläche die Eigenschaft eines Konvexspiegels zukommt, so muss nach bekannten katoptrischen Sätzen ein verkleinertes Bild entstehen. Scharfe Messungen haben diese z. B. auch für das Sonnenbild gültige Thatsache ausser Zweifel gesetzt.

Fig. 10.



Wichtiger jedoch, als diese indirekten Beweisgründe, ist der bereits dem Eratosthenes und Ptolemäus bekannt gewesene geometrische Beweis, der nur von zwei vulgären Erfahrungswahrheiten Gebrauch macht. Sei M (Fig. 10) der Mittelpunkt der Himmelskugel, P_1 der bei der täglichen scheinbaren Umdrehung unbewegt bleibende Punkt oder Pol, A, B, C seien drei genau in der Nordrichtung gelegene Erdorte, und zwar sei $AB = BC$. Man bestimme durch das Loth die Zenithalpunkte A_1, B_1, C_1 von A, B, C und messe astronomisch deren Winkeldistanzen vom Pole P_1; dann lehrt die Praxis, dass

$$\text{arc } A_1 B_1 = \text{arc } B_1 C_1; \quad \sphericalangle A_1 M B_1 = \sphericalangle B_1 M C_1$$

ist. Daraus folgt nach bekannten Sätzen, dass auch A, B und C auf einem koncentrischen Kreise gelegen sein müssen. Damit wäre zunächst zwar nur ausgesagt, dass in einer bestimmten Richtung die Krümmung der Erdoberfläche eine gleichförmige sein muss, so dass also vorläufig auch ein Kreiscylinder von endlicher Grösse, der aber von der Himmelskugel unendlich weit entfernt wäre, der Voraussetzung genügen würde. Andererseits ist aber bekannt, dass, wenn einer genau ostwestlichen Vorwärtsbewegung von s Raumeinheiten eine Verzögerung des Sonnenaufganges von t Zeiteinheiten entspricht, einer analogen Bewegung von m . s Raumeinheiten eine proportionale Verzögerung des Sonnenaufganges um m . t Zeiteinheiten entspreche; diess kann, da das Fortschreiten der Sonne in ihrer Bahn ein völlig gleichmässiges ist, nur davon herrühren, dass auch in der Ostwestrichtung die Erde allenthalben das nämliche Krümmungsmaass besitzt. Die Stereometrie lehrt, dass keiner anderen als der Kugelfläche eine gleichförmige Krümmung nach zwei auf einander normalen Richtungen eignet, und damit ist in aller Strenge bewiesen, dass die Erde eine der Himmelskugel koncentrische Kugel ist, für welche es einen Punkt P geben muss, der ihr gegenüber dieselbe Rolle spielt, wie gegenüber ersterer der Himmelspol P_1.

Vorstehende Deduktion hat den grossen Vortheil, dass sie für die Erde im Ganzen gilt, nicht blos für deren tropfbar flüssige Bedeckung. Dass für letztere die Kugelform die einzig mögliche ist, hatte bereits Archimedes erkannt und in seiner nur in schlechtem Arabisch auf uns gekommenen Schrift „Von den schwimmenden Körpern“ exakt erwiesen; das bezügliche Theorem (das zweite des Buches) lautet in lateinischer Uebersetzung [36]: „Omnis humidi consistentis ita,

ut maneat immotum, superficies habebit figuram sphaerae habentis centrum idem cum terra"*).

§. 3. **Störungen der Kugelform.** Dass nur die Meeresfläche eine wirkliche Krümmung besitzen könne, während auf dem Festlande die Unebenheiten der Berge und Thäler die Sphäricität beeinträchtigen müssen, verstand sich von selber. Doch wussten auch die Alten recht wohl, dass die hiedurch bedingte Unterbrechung der geometrischen Gestalt von keinem Belang sei. Jener Omons, dessen wir im ersten Paragraphen zu gedenken hatten, sagt in dieser Hinsicht ganz bezeichnend [38]: „Les hauteurs ni les vallées n'ôtent rien à la terre de sa rondeur." Und dem ist wirklich so. Legt man, da überdiess die Einsenkungen gegen die Erhebungen über dem Meeresspiegel gänzlich vernachlässigt werden dürfen, für den Erdradius die Listing'sche Zahl (s. u.), für die Vertikalerhebung des höchsten Berges, des Gaurisankar, die von H. Wagner [39] angegebene Zahl zu Grunde, so ist das Verhältniss der ersteren zur letzteren

$$6\,370\,000 : 8840 = 720 : 1.$$

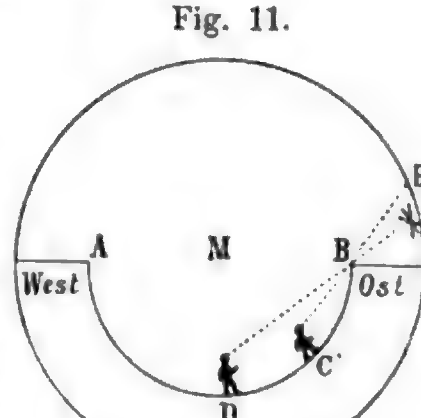
Eine künstliche Erdkugel muss sonach schon einen recht respektablen Durchmesser besitzen, wenn ein einziges Häufchen auf ihrer Oberfläche an einander gereihter Sandkörnchen ihre Sphäricität nur in gleichem Maasse entstellen soll, wie das Himalayagebirge diejenige der Erde.

Hier war mithin von Schwierigkeiten der Auffassung durchaus nichts zu finden, allein da man keine solchen vorfand, so konstruirte man sie künstlich. Die auf der Elementenlehre des Stagiriten basirende Naturphilosophie des Mittelalters nahm in ihrer Weise ganz richtig an, dass Wasser, Luft, Feuer und Aether in koncentrischen Kugelschalen sich um die Erde herumlegten; plötzlich aber tauchte die gegentheilige Meinung auf, dass der Mittelpunkt der Erd- und Wassersphäre nicht zusammenfielen. Möglicherweise datirt diese Irrlehre aus dem Alterthum, wenigstens stellt Köler [40] die Hypothese auf, „dass Thales sich die Erde wie eine grosse Wasserkugel oder seiner eigentlichen Vorstellung nach näher wie eine trommelförmige Wassermasse vorstellte, auf deren oberer Seite die eiförmig gestaltete Erdfläche schwämme." Sei dem, wie immer, jedenfalls verfochten schon seit dem XIII. Säkulum, wie die Beispiele eines Latini [41] und Ristoro [42] darthun, ge-

---

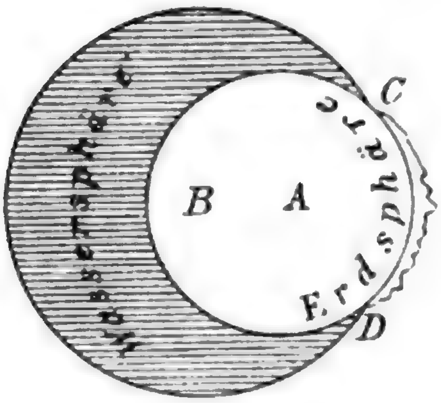
*) Bekanntlich gewinnt namentlich der Neuling bei vollkommen freiem Horizonte, wie ihn die hohe See darbietet, leicht den Eindruck, als befinde er sich an einer relativ tiefsten Stelle, als stiege die Erde konkav ringsum in die Höhe. Dass aber in Wahrheit die Erde allenthalben konvex und nirgendwo hohl sei, erläutert ein netter Anschauungsbeweis des Abraham Bar Chija [37]. AB (Fig. 11) bedeutet einen Durchschnitt der hohl vorausgesetzten Erde, deren (ideelles) Centrum M zugleich das der Himmelskugel ist. Der Beobachter in D befindet sich westlich von dem Beobachter in C und erkennt trotzdem den der täglichen Bewegung unterworfenen Stern F weit näher dem Aufgangspunkte, als der andere, dessen Gesichtsfeld erst mit E beginnt. Diess widerspricht aber der Wirklichkeit.

Fig. 11.



lehrte Männer die Lehre, dass die Erdfeste excentrisch in eine übergreifende Wasserkugel eingebettet liege, und zwar meinte letzterer, dem reichgestirnten Nordhimmel entspreche die Gebirgsmasse der Erde, dem sternarmen Südhimmel die Wasseranschwellung. In Fig. 12 ist A Centrum der Erdsphäre, B Centrum der Wassersphäre, CD der von Gebirgen bedeckte und aus dem Flüssigen hervorragende Theil der ersteren. Der treffliche Dante eröffnete gegen dieses Phantom eine erfolgreiche Polemik in seiner Schrift „De aqua et terra", auf deren Bedeutung für die Geophysik W. Schmidt [43] und — mit steter Bezugnahme auf andere Dante-Stellen — Poletto [44] hingewiesen haben. Damit schien denn allerdings die Wahrheit gesiegt zu haben, doch verschuldeten Mathias Doring und Capuanus de Manfredonia hundert Jahre später noch manchen Rückfall [45], und noch Coppernicus hielt es für zweckmässig, in längerer Diatribe festzustellen [46], „wie das Land mit dem Wasser eine Kugel ausmacht".

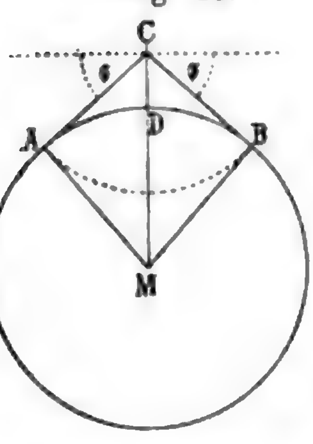
Fig. 12.



§. 4. **Methoden der Erdmessung.** Wir stellen in diesem Paragraphen einige Methoden zusammen, die rein theoretisch gleich gut dem Zwecke dienen können, die Grösse des Radius oder Umfanges eines Hauptkreises der Erde zu bestimmen, die aber sämmtlich aus praktischen Gründen, weil nämlich der Fehlerquellen zu viele sind, verworfen werden müssen.

a) **Methode des Tangentialkegels.** Man erhebe sich von einem Punkte D (Fig. 13) der Erdoberfläche aus vertikal bis zu beliebiger Entfernung CD = a von der Erde. Dann übersieht man eine Kalotte der Erdkugel, deren Grösse von dem zu messenden Winkel φ, der Kimmtiefe oder Horizontaldepression, abhängt, welche man erhält, wenn man von C aus den Tangentialkegel CAB an die Erde zieht und zugleich durch C eine Ebene normal zu CD legt; jede Seitenlinie dieses Kegels ist gegen die Ebene um den ∢ φ geneigt. Die Radien MA und MB bilden mit CA und CB rechte Winkel, und es ist somit ∢ CMB = ∢ CMA = φ und weiter, wenn r wie gewöhnlich den Erdhalbmesser bezeichnet,

Fig. 13.



$$\cos\varphi = \frac{r}{r+a},\ r = \frac{a\cos\varphi}{1-\cos\varphi} = \frac{a\cos\varphi}{2\sin^2\frac{1}{2}\varphi}.$$

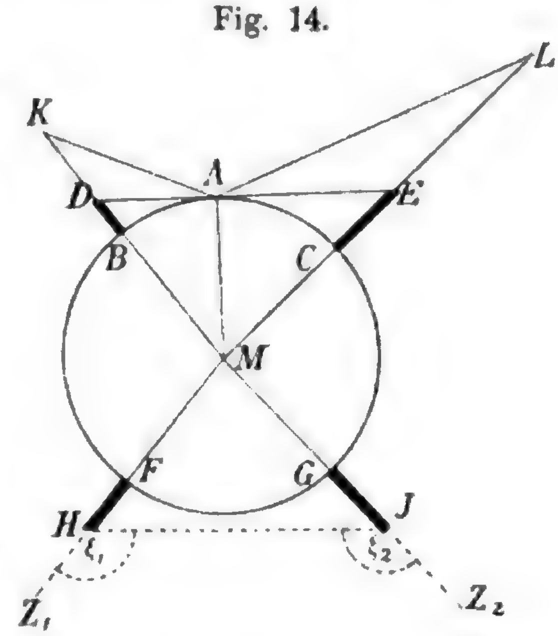
Die genaue Messung des ∢ φ wird nur leider durch die Strahlenbrechung und andere Umstände auf das äusserste erschwert. Umgekehrt kann diese Formel auch dazu dienen, die angulare und daraus — wenn der Erdradius bekannt ist — auch die lineare Entfernung eines Beobachters von einem weit entfernten Objekte, einem Leuchtthurm z. B., abzuschätzen. R. v. Schlagintweit und Koldewey

haben, wie Leipoldt [47] mittheilt, einfache Formeln gegeben, um aus der Höhe a auf die von φ abhängige Weite des Gesichtskreises einen näherungsweisen und von der Benützung trigonometrischer Tafeln unabhängigen Schluss zu ziehen. Einer auch sonst interessanten Abhandlung von Holetschek [48] entnehmen wir die nachfolgende, von A. Steinhauser gerechnete Tabelle, welche zeigt, wie beim Wachsen der Höhe in arithmetischer Progression der Radius des Gesichtskreises zuerst rasch, dann immer langsamer, zunimmt.

Höhe in m	Radius in km	Zunahme	Höhe in m	Radius in km	Zunahme
10	11,3	0,0	60	27,7	2,4
20	16,0	4,7	70	29,9	2,2
30	19,6	3,6	80	31,9	2,0
40	22,6	3,0	90	33,8	1,9
50	25,3	2,7	100	35,7	1,9

b) **Methode von Ghetaldi.** Der dalmatinische Mathematiker Ghetaldi (zweite Hälfte des XVII. Jahrhunderts) gab, wie sein Biograph Gelcich erwähnt [49], ebenfalls ein selbstständiges Verfahren zur direkten Berechnung des Erdradius an*). An zwei Punkten B und C der Erde (Fig. 14), deren Mittelpunkt M ist, soll man zwei vertikale Latten BD = a und CE = b aufstellen, sodann den zwischenliegenden Punkt A aufsuchen, für welchen die Endpunkte D und E zu beiden Seiten gerade im Horizonte verschwinden, und hierauf die Entfernungen AD = c und AE = d messen. Zweimalige Anwendung des pythagoreischen Lehrsatzes liefert dann die Gleichungen

Fig. 14.



$$\overline{AM}^2 = (r + a)^2 - c^2 = (r + b)^2 - d^2,$$

woraus nach einiger Umformung hervorgeht:

$$r = \frac{c^2 - a^2 + b^2 - d^2}{2(a - b)}.$$

c) **Modificirte Methode von Dufour.** Es bedarf der Erwähnung kaum, dass das von Ghetaldi in Vorschlag gebrachte Messungsverfahren aus den verschiedensten Gründen thatsächlich undurchführbar ist. Doch verdient es immerhin aufbewahrt zu werden und zwar mit um so mehr Recht, als auch die beiden zunächst zu besprechenden Methoden auf einem ähnlichen Grundgedanken beruhen. Dufour löst

*) Nach den von Herrn Marineschuldirektor Gelcich in Lussin piccolo gegebenen näheren Aufschlüssen; die darüber im Detail handelnde Note [50] erschien erst später und konnte nicht mehr benützt werden.

bei seinen uns schon bekannten Untersuchungen über Seespiegelung die folgende Aufgabe (a. a. O.): Wenn in K (Fig. 14) eine Lichtquelle Strahlen nach der spiegelnden Erde in A sendet, so dass in L ein Bild von K entsteht, aus den gegebenen Grössen KB, LC, DE und r die unbekannten Grössen DB, EC, DA und EA zu berechnen. Diese Aufgabe ist offenbar eine Art von Umkehrung des in der Geschichte der Optik berühmt gewordenen Problemes des Alhazen: Bei gegebenem Aug- und Bildpunkt die Lage des Reflexionspunktes auf einer spiegelnden Kugelfläche zu ermitteln; die allgemeinste und eleganteste Lösung dieses Problemes hat Pelz auf deskriptivem Wege gegeben [51]. Ungleich einfacher ist jedoch die nahe verwandte Aufgabe, welche wir folgendermassen formuliren (Fig. 14). Man misst in K sowohl als in L die Winkel $MKA = \alpha$ und $MLA = \beta$, welche die nach dem Reflexionspunkte gezogenen Strahlen KA und LA mit der Vertikalen bilden, sowie auch die vertikalen Entfernungen $KB = m$ und $LC = n$. Diess vorausgesetzt, entnimmt man den beiden Dreiecken MAK und MAL, worin $\sphericalangle KAM = \sphericalangle LAM = \psi$ ist, die Proportionen

$$r : (r + m) = \sin\alpha : \sin\psi, \quad r : (r + n) = \sin\beta : \sin\psi,$$

woraus unmittelbar folgt

$$(r + m)\sin\alpha = (r + n)\sin\beta, \quad r = \frac{m\sin\alpha - n\sin\beta}{2\cos\frac{\beta+\alpha}{2}\sin\frac{\beta-\alpha}{2}}.$$

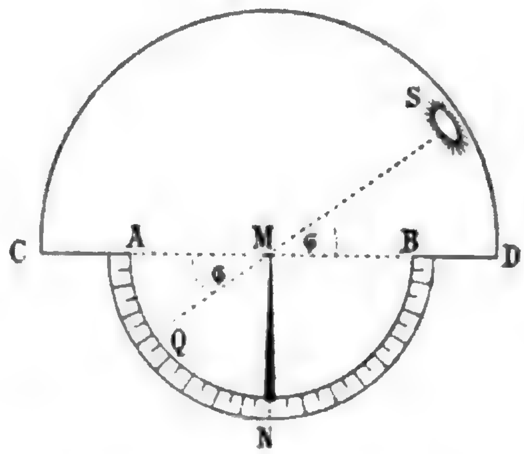
d) **Methode von Klose.** Dieselbe besteht in Folgendem. Man wählt zwei hochgelegene Punkte H und J (Fig. 14), aus deren jedem der andere anzuvisiren ist, und bestimmt die Winkel $Z_1HJ = \zeta_1$ und $Z_2JH = \zeta_2$, welche in jedem Punkte die Visirlinie mit dem verlängerten Erdradius einschliesst. Jeder Aussenwinkel eines Dreieckes ist gleich der Summe der beiden von ihm getrennt liegenden Innenwinkel; man hat also: $\zeta_2 = 180^\circ - \zeta_1 + \sphericalangle HMJ$; $\sphericalangle HMJ = \zeta_1 + \zeta_2 - 180^\circ$. Wenn nun noch ferner die lineare Distanz der Fusspunkte F und G jener Höhen geodätisch $= d$ ermittelt ist, so kann man zur Berechnung des Erdhalbmessers r die Proportion $(\zeta_1 + \zeta_2 - 180^\circ) : 360^\circ = d : 2r\pi$ verwenden. Oberst Klose wählte nach dem Berichte J. Müller's [52] für FH und GJ die Durlacher Warte und den Strassburger Münsterthurm und fand $\zeta_1 = 89^\circ 48'$, $\zeta_2 = 89^\circ 35'$, $\zeta_1 + \zeta_2 - 180^\circ = 37'$, und da $d = 71{,}058$ km bekannt war, so ergab sich für den Erdumfang die Ziffer 41 480 km. Ohne Berücksichtigung der Refraktion und anderer Umstände durfte eine genauere nicht erwartet werden.

§. 5. **Die Gradmessungsmethode.** Die zuletzt behandelte Methode war schon keine ganz direkte mehr; sie gieng nicht unmittelbar auf die Eruirung des Erdhalbmessers selbst aus, sondern setzte sich lediglich die Bestimmung eines aliquoten Theiles des Erdumfanges zum Ziel, aus welchem dann letzterer selbst berechnet werden konnte. Diese Methode ist zugleich die einzige wirklich annehmbare; zuerst verfiel auf sie der gelehrte Bibliothekar von Alexandria, Eratosthenes (276—195 v. Chr.). Aus dem gelehrten Werke Berger's über diesen Mann als Geographen lassen sich alle Data über die eratosthenische Gradmessung völlig genügend entnehmen*) [53], und es ist damit

*) Einen erläuternden Auszug aus den bezüglichen Theilen des Berger-

Sprenger's Meinung, dass man es bei jener nicht sowohl mit wirklicher Messung, als vielmehr mit einer blos oberflächlichen Schätzung zu thun habe [56], als beseitigt anzusehen. Eratosthenes glaubte zu wissen, dass zu Syene (Assuan) in Oberägypten am Tage des Sommersolstitiums die Sonne einen tiefen Brunnen bis zum Grunde erleuchte, d. h. also in dessen Zenith stehe, während er selbst zur gleichen Zeit für seinen Wohnsitz Alexandria eine Sonnenhöhe von 7° 12′ ermittelt hatte. Fig. 15 veranschaulicht uns, wie er zu dieser Zahl gelangte. CD sei die Himmelskugel, M der Standpunkt des Beobachters und zugleich Centrum einer halbkreisförmigen Sonnenuhr AB, in deren tiefstem Punkte der schattenwerfende Zeiger MN angebracht ist. Der Schatten, welchen die Sonne S ergiebt, endigt in Q und arc NQ = ∢ NMQ ward eben gleich $^1/_{50}$ der Peripherie gefunden. Die Sonnenhöhe war in Alexandria = φ^0, in Syene = 90°, somit repräsentirte der Bogen $90^0 - \varphi = 7^0\,12'$ die Winkeldistanz beider Städte. 5000 Stadien betrug nach den Katasterlisten der lineare Abstand, und so ergab sich denn aus der Proportion

Fig. 15.



$$^1/_{50} : 1 = 5000 : u$$

der Erdumfang u zu 250 000 Stadien, eine Zahlangabe, die, von den nachweislich vorgekommenen Irrthümern abgesehen, schon dadurch für uns an Werth verliert, dass wir ausser Stande sind, das gebrauchte Stadium mit den modernen Längenmaassen genau zu vergleichen.

Das Verfahren des Eratosthenes fand im Alterthum und Mittelalter mehrfach Nachahmer*). Dionysodoros freilich, der einer von Plinius [62] mitgetheilten Sage zufolge den Erdradius auf 42 000 Stadien angegeben haben soll, dürfte nach Bailly's Meinung diesen Werth wohl blos in der Weise gefunden haben [63], dass er ihn mit Zugrundelegung des archimedischen Kreisverhältnisses aus dem angeblich chaldäischen Werthe für den Erdumfang (264 000 Stadien) berechnete. Sonst sind uns aus dem Alterthum noch folgende Maassangaben verblieben [64]: die des Aristoteles (400 000 Stadien), die des Kleomedes (300 000 Stadien), die des Ptolemäus (180 000 Stadien) und die des Posidonius (240 000 Stadien). Der Letztgenannte verfuhr

---

schen Werkes hat der Verf. besorgt [54] und dabei auch auf die Resultate einer neueren Abhandlung von Lepsius [55] gebührend Bedacht genommen.

*) Bei der Zusammenstellung der nun folgenden geschichtlichen Nachweisungen dienten einige besonders tüchtige Arbeiten zur Richtschnur, auf welche zur Ergänzung des Wenigen, was an diesem Orte gegeben werden durfte, verwiesen sein möge. Bis zum Jahre 1827 giebt es wohl keine umfassendere Darstellung, als diejenige, welche Muncke [57] seiner Neubearbeitung des Gehler'schen Wörterbuches einverleibt hat; ausserdem empfiehlt sich für die früheren Versuche die Monographie von Posch [58]. Die neuere Zeit dagegen und die gegenwärtig den Gradmessungsarbeiten gesteckten Ziele lernt man am besten kennen aus den Schriften v. Bauernfeind's [59] und Sadebeck's [60]; ausserdem hat das Berliner geodätische Institut einen Katalog aller hierher gehörigen literarischen Arbeiten herausgegeben [61].

ganz im Geiste des Eratosthenes, indem er die angulare Entfernung zwischen Rhodus und Alexandria der Differenz der Höhen gleichsetzte, bis zu welchen sich in beiden Städten der Stern Kanopus über den Horizont erhob. Im VIII. Jahrhundert unserer Zeitrechnung liess der Kalife Al Mamun zuerst in der palmyrenischen Wüste, sodann in der Ebene Sindjar einen Grad messen; von der ersteren Messung berichtet uns Ibn Junis [65], und das Resultat der zweiten fasst Alfragan [66] in die folgenden Worte: „Invenimus per hoc, quod portio unius gradus circuli ex rotunditate terrae sit 56 milliarium et duarum tertiarum unius milliarii per milliarium, quod est 4000 cubitorum per gradus aequales.“ Im Abendlande nahm der französische Arzt Fernel (1525) diese Versuche wieder auf; sein darüber verfasstes Buch [67] belehrt uns, dass er in einem Wagen von Paris aus nordwärts gefahren sei, bis astronomische Beobachtung ihm gezeigt habe, dass er um einen ganzen Grad vorwärts gekommen war; ein am Fuhrwerk angebrachtes Hodometer mass die hiezu erforderlich gewesenen Umdrehungen eines Wagenrades und aus diesen berechnete sich ein Breitegrad auf 57070 Toisen — eine Genauigkeit, die angesichts der mangelhaften Methode wohl nur durch ganz besondere Zufälligkeiten erreichbar, wenn nicht am Ende gar erschlichen war.

So unbestreitbar richtig der von Eratosthenes verfolgte Grundgedanke auch war, so litt doch dessen praktische Verwirklichung noch unter zahllosen Unvollkommenheiten. Diesen fast endgültig abgeholfen zu haben, ist das hohe Verdienst des jüngeren Snellius, der Anno 1615 zwischen Alkmaar und Bergen op Zoom jene berühmte Bestimmung eines aliquoten Theiles des Erdumfanges in's Werk setzte, welche seitdem den charakteristischen Namen Gradmessung trägt. Dieselbe führte zwar noch nicht zu sehr genauen Ergebnissen, da Snellius noch kein Fernrohr mit seinen Messwerkzeugen verbunden hatte — Musschenbroek hat sie später unter Anwendung solcher Hülfsmittel wiederholt und verbessert —, allein dem Geiste des Verfahrens nach hat die Nachwelt nichts mehr zu verändern gefunden.

Man wählt nach Snellius [68] zwei auf gleichem Meridian gelegene Orte A und B (Fig. 16), misst deren zenithale Poldistanzen und findet so durch Subtraktion den Winkel γ, welchen die nach A und B gezogenen Erdradien mit einander bilden. Von A aus misst man ferner geodätisch eine Strecke AC, deren Richtung mit dem Meridian einen (bekannten) Winkel φ bilden möge. Alsdann visire man von A und C nach einem entfernten Punkte D (gewöhnlich wählt man Thurmspitzen, in deren Ermangelung sogenannte trigonometrische Signale errichtet werden) und messe die Winkel CAD und ACD; dann kennt man in dem Dreieck ACD eine Seite und die beiden anliegenden Winkel und kann die Seiten AD und CD trigonometrisch berechnen. CD als neue Grundlinie benützend, bestimmt man $\sphericalangle$ CDE und $\sphericalangle$ DCE, unter E einen neuen Signalpunkt verstanden, und findet dadurch die Längen CE und DE. In dieser Weise schreitet man fort; F, G, H, J werden als neue Zwischenpunkte eingeschaltet, und zuletzt erhält man ein geschlossenes Polygon ACEGJBHFD, dessen sämmtliche Seiten und Winkel (α, γ, δ, ε, ζ, η, ϑ, ι, β) bekannt sind, während die Länge der Diagonale AB als einzige Unbekannte zu bestimmen übrig bleibt. Die Regeln der sogenannten Polygonometrie liefern diese Un-

bekannte ohne grosse Mühe. Man fällt nämlich von den einzelnen Eckpunkten des Vielecks Lothe CC_1, DD_1, EE_1, FF_1, GG_1, HH_1, JJ_1 auf die Diagonale; dann ist, wenn noch die Linien EC_2, GE_2, GJ_2 parallel zu AB gezogen werden,

$$AB = AC_1 + C_1E_1 + E_1G_1 + G_1J_1 + J_1B = AC_1 + C_2E + E_2G + GJ_2 + J_1B$$

oder, mit Anwendung bekannter Formeln vom rechtwinkligen Dreieck,

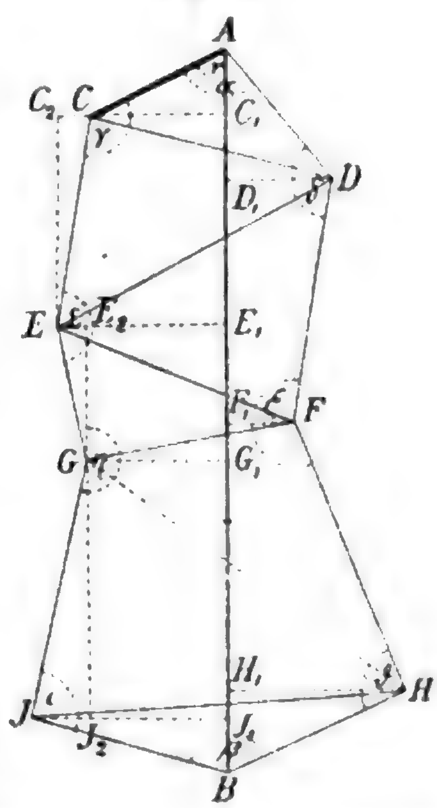
$$AB = AC\cos\varphi + CE\cos(\varphi+\gamma) + EG\cos(\varphi+\gamma+\varepsilon) + GJ\cos(\varphi+\gamma+\varepsilon+\eta) + JB\cos(\varphi+\gamma+\varepsilon+\eta+\iota),$$

wobei die Summe natürlich als eine algebraische aufzufassen ist. Als Kontrole kann ebenso die Relation

$$AB = AD\cos(\alpha-\varphi) + DF\cos(\alpha-\varphi+\delta) + FH\cos(\alpha-\varphi+\delta+\zeta) + HB\cos(\alpha-\varphi+\delta+\zeta+\vartheta)$$

dienen, und zudem ist nicht ausser Acht zu lassen, dass die neuere Wahrscheinlichkeitsrechnung zur Ausgleichung der unvermeidlichen Messungsfehler die besten Mittel an die Hand gegeben hat. Zuletzt gilt die Proportion: $\gamma : 360 = AB : u$.

Fig. 16.



Das Auszeichnende dieser Manier, eine Erdstrecke auszumessen, liegt darin, dass nur eine einzige Strecke von viel geringerer Ausdehnung, die sogenannte **Basis**, der unmittelbaren Bestimmung durch die Messkette unterliegt, während Alles sonst von Winkelmessungen abhängt. Es leuchtet ein, dass diese letzteren mit ganz ungemein grösserer Exaktheit zu bewerkstelligen sind. Und während man früher der Grundlinie AB doch immer noch eine respektable Länge zu sichern bemüht war, um recht genaue Resultate zu erzielen, hat Schwerd [69] späterhin gezeigt, dass mit Beobachtung gewisser Vorsichtsmaassregeln auch diese Fundamentallinie ziemlich klein genommen werden dürfe. Als Schwerd seine kleine Basis zu zwei wiederholten Malen ausmass, fand er blos eine Längendifferenz = 0,000895 der ganzen Strecke [70]; diess ist aber eine bei grösseren Grundlinien unmöglich zu erreichende Genauigkeit.

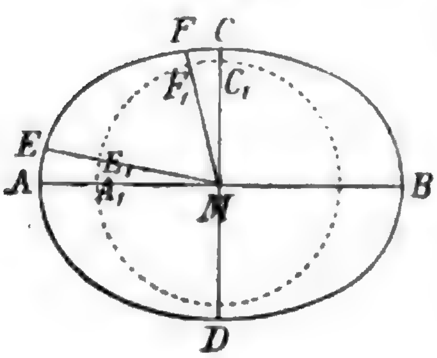
Von späteren Gradmessungen der alten Art sind noch diejenigen von Norwood und Riccioli zu nennen [71]. Der Erste dagegen, der im Sinne Snell's arbeitete, war sein Landsmann Blaeu, der denn auch nach Picard Löbliches geleistet zu haben scheint [72]. Dieser französische Geometer war wiederum der Erste, der die Alhidade seiner Quadranten mit Fernröhren versah und in dem Brennpunkte derselben das die Schärfe der Ablesung erst eigentlich ermöglichende Fadenkreuz anbrachte. Er mass von 1669 bis 1670 einen Bogen zwischen Malvoisine und Amiens, fand den Polhöhenunterschied gleich 1° 22′ 58″ und berechnete hieraus die Länge eines Breitegrades zu 57 060 Toisen. Sein Werk über diese Gradmessung [73] erscheint in der Geschichte der exakten Wissenschaften noch mit einem besonderen Glorienscheine, denn nur dadurch, dass Isaak Newton dasselbe in

die Hand bekam, ward es ihm möglich, in seine schon früher angestellten Rechnungen über den Zusammenhang der Mondbewegung mit der Erdschwere den richtigen Werth des Erdhalbmessers einzusetzen und mit dieser Substitution ein Gesetz zu entdecken, dessen Gültigkeit ihm bereits wieder zweifelhaft geworden war [74].

§. 6. **Zweifel an der geometrischen Kugelform der Erde; weitere Gradmessungen.** Gründe, auf deren Wesen erst im nächstfolgenden Kapitel eingegangen werden kann, machten es gegen Ende des XVII. Jahrhunderts wahrscheinlich, dass die Erde keine eigentliche Kugel sei, sondern am Aequator eine wenn auch geringe Anschwellung besitze. Da ohnehin Picard den Wunsch hegte, seine Gradmessung bis zu einem das ganze Frankreich überspannenden Meridianbogen ausgedehnt zu sehen, so lagen genügende Momente zur Wiederaufnahme der bezüglichen Operationen vor. Der Minister Colbert sagte dem Werke seine Unterstützung zu, doch dauerte es 20 Jahre (von 1680 bis 1700), bis dasselbe, an welchem sich Dominic und Jacques Cassini, Maraldi, Couplet, Chazelles und De la Hire betheiligten, zu Ende geführt war. Das Schlussergebniss, dass nämlich im nördlichen Frankreich ein Meridiangrad gleich 56 960, im südlichen dagegen = 57 097 Toisen gefunden wurde [75], schien allerdings gegen die Annahme zu sprechen, welche ursprünglich den Anstoss zur Gradmessung gegeben hatte, doch war damit immer so viel festgestellt, dass die Form der Erde keine rein sphärische*), sondern eine elliptische sei. Ueber die Art dieser Ellipticität bestand völlige Klarheit noch nicht.

Fig. 17 stellt eine Ellipse dar, deren grosse Axe AB und kleine Axe CD sich im Mittelpunkte M rechtwinklig schneiden. Um M sei mit beliebigem Radius ein koncentrischer Kreis konstruirt, der die MA und MC resp. in A_1 und C_1 schneidet. Legt man nun in M an MA und MC zwei beliebige, aber gleiche Winkel an, deren Endschenkel die Ellipse in E und F, den Kreis dagegen in E_1 und F_1 treffen, so ist zwar auf dem Kreise arc A_1E_1 = arc C_1F_1, auf der Ellipse dagegen arc AE < arc CF. Einen strengen Beweis für die Richtigkeit dieser übrigens auch schon durch den Augenschein zu konstatirenden Thatsache werden wir demnächst

Fig. 17.



*) Bis dahin waren Zweifel an der rein sphärischen Rundung der Erdoberfläche nur gelegentlich laut geworden. Bei Cassiodor kommt nach M. Cantor's Mittheilung [76] eine merkwürdige Stelle vor: „Mundi figuram curiosissimus Varro longae rotunditati in geometriae volumine comparavit, formam ipsius ad ovi similitudinem trahens, quod in latitudine quidem rotundum, sed in longitudine probatur oblongum.“ Der römische Polyhistor war diesen Worten zufolge ein Anhänger jener Hypothese, der später (s. o.) Cassini zuneigte, nicht aber ein Verfechter der Erdabplattung im Newton'schen Sinne, wie Chasles fälschlich annahm [77]. Im Mittelalter sagt der gelehrte Petrus de Abano einmal [78]: „Terra non est sphaerica, imo est oblonga“; ein sonderbares Bild von einer nicht vollkommen sphärischen Erde beherrschte auch die Phantasie des Columbus [79]. In des Schweizers Vadian „Epistola Rudolpho Agricolae Juniori Rhoeto“, die 1512 zu Wien gedruckt wurde, wird ein Beweis dafür angetreten, dass die Erde

folgen lassen. Vorläufig steht fest, dass in der Nähe der Endpunkte der kleinen Axe die Ellipsenbögen, welche einem Centriwinkel von 1° Oeffnung entsprechen, grösser sind, als in der Nähe der Endpunkte der grossen Axe. Hält man diess fest, so musste das anscheinend sichere Resultat der zweiten französischen Gradmessung in der Sprache der Geodäsie folgendermassen lauten: Die Erde ist kein abgeplattetes, sondern ein verlängertes Sphäroid (Umdrehungsellipsoid); ihre Rotationsaxe fällt nicht mit der kleinen, sondern mit der grossen Axe der Meridianellipse zusammen.

Jacques Cassini machte diese Behauptung zur Grundlage eines gelehrten Werkes [81], und auch Eisenschmidt schrieb eine in diesem Sinne gehaltene Dissertation [82], in welcher nach den Messungen von Eratosthenes, Fernel, Snellius, Riccioli und Picard die Gestalt der Erde als ein gedehntes Sphäroid ermittelt ward, dessen Polardurchmesser 10 890, dessen Aequatorialdurchmesser blos 8288 römische Meilen betrüge. Allein von englischer Seite erhob man, gestützt auf theoretische Gründe und auf die gewichtige Autorität Newton's, unausgesetzt Widerspruch, und Voltaire spottete, wer von London nach Paris komme, müsse seinen Gedanken immer eine ganz andere Richtung geben, denn dort betrachte man die Erde als Orange, hier aber als Citrone. Um den Streit endgültig zu begleichen, ordnete König Louis XV. in den Jahren 1735 und 1736 je eine Gradmessungskommission nach Peru und Lappland ab; die Mitglieder der ersteren waren Bouguer, Godin und De la Condamine nebst ihren Seitens der spanischen Krone beigesellten Reisebegleitern Don Jorge Juan y Santacilia und Don Antonio de Ulloa, während Le Monnier, Clairaut, Camus, Outhier und der Schwede Celsius unter Maupertuis' Führung nach Norden giengen [83]. Am Aequator ward Rühmliches geleistet, und Bouguer's Beschreibung der ganzen Arbeit [84] wird mit dem später gelieferten Nachtrag [85] stets die Bezeichnung eines klassischen Werkes verdienen. Maupertuis fasste seine Aufgabe etwas zu leicht auf, und sein Reisebericht [86], von dem Nürnberger lange nachher eine deutsche Ausgabe veranstaltete [87], ist mehr in allgemein-geographischer, als speziell in mathematischer Hinsicht lesenswerth. Immerhin musste aus den einzelnen Messungen das Resultat gezogen werden, dass ein Meridiangrad unter dem Polarkreis grösser als ein solcher in der Breite von Paris und dieser wieder grösser als ein solcher in der Breite Null sei, und hiemit war die alte Streitfrage im Sinne Newton's und der auf seiner Seite stehenden Physiker entschieden.

---

von Ost nach West ausgedehnter sei, als von Nord nach Süd, doch scheint uns diess mehr eine Wiederaufnahme der alten Chlamys-Theorie des Eratosthenes zu sein, in welcher der Keim zu der später beliebten Trennung der Erde in eine zona habitabilis und inhabitabilis lag, als eine Vorahnung der Abplattungslehre, an welche in jener frühen Zeit wohl kaum Jemand dachte. Auch Picard scheint bereits an die Möglichkeit einer Abweichung gedacht zu haben, allein noch 1690 äusserten sich, wie Wolf erzählt, die Pariser Akademiker dahin: anlässlich der Wahrnehmung, dass die Jupiterscheibe im Teleskop nicht ganz kreisrund erscheine, sei auch von ihnen die Möglichkeit diskutirt worden, dass Aehnliches bei der Erde statthabe; man habe aber in ihren Kreisen den Gedanken wieder fallen lassen, da der Schatten der Erde auf dem Monde stets in der Kreisform gesehen werde [80]. Ueber die Unzuverlässigkeit dieses Argumentes vgl. oben §. 2.

Spätere Gradmessungen konnten sonach blos eine Verfeinerung des peruanisch-lappländischen Ergebnisses anstreben. Es sind solche ausgeführt worden von La Caille im Kaplande [88], von Boscovich und Maire im Kirchenstaate [89], von Christian Mayer in der Rheinpfalz [90], von Mason und Dixon in Nordamerika (worüber Maskelyne's Beschreibung [91] zu vergleichen ist, von Liesganig in Oesterreich [92]*), von Beccaria und Canonica in Piemont [95], von Roy [96] und dem vierten Astronomen Cassini [97] zur geodätischen Verbindung Englands mit Frankreich, von Burrow und Dalby [98] in Bengalen und endlich von Svanberg in Lappland [99], durch welch' letztere Messung besonders Maupertuis' Irrthümer berichtigt werden sollten und auch wirklich berichtigt wurden. Die Hypothese des abgeplatteten Sphäroides ward durch all' diese Bemühungen immer wieder bestätigt und schliesslich zum Range einer feststehenden wissenschaftlichen Theorie erhoben.

§. 7. **Gradmessungen zur Festsetzung eines Naturmaasses.** In ein neues Stadium trat die Gradmessungsfrage, als zur Zeit der französischen Revolution die Idee zur Herrschaft gelangte, es müsse sich ein sogenanntes Naturmaass ausfindig machen lassen, welches, wenn auch sämmtliche Normalmaassstäbe verloren gehen sollten, doch immer wieder von Neuem genau in derselben Grösse bestimmt werden könne. Eine aus den hervorragendsten Pariser Mathematikern bestehende Kommission (Laplace, Lagrange und Monge gehörten zu den Mitgliedern) beschloss, $^1/_{4000000}$ jenes Meridians, der durch die Sternwarte der Hauptstadt geht, als Längeneinheit unter dem Namen Meter („mètre") einzuführen und darauf ein konsequentes Maass- und Gewichtssystem zu begründen [100]. Dieser Plan ist denn auch, wie alle Welt weiss, im vollsten Umfange durchgeführt worden. Im Interesse der wohlthätigen metrologischen Umwälzung führten Méchain, der aber darüber starb, J. Biot und Arago die französische Messung bis zu den balearischen Inseln fort und gelangten so zu neuen und besseren Werthen für die Erdabplattung [101].

Das Naturmaass an sich ward freilich nur zu bald als eine Chimäre erkannt. Es ist nicht recht verständlich, wie es Geometern von dem Range der genannten verborgen bleiben konnte, dass Messungsfehler unter allen Umständen jedem aus menschlichen Operationen gezogenen Resultate anhaften müssen, und so stellte sich denn auch nur zu bald heraus, dass das Meter das durchaus nicht war, was es ursprünglich sein sollte. Bessel wiederholte nämlich die gewaltige Rechnung, welche die Grösse der Normaleinheit geliefert hatte, indem er dabei auf den

*) Die Arbeit Liesganig's erfreut sich ihres Ergebnisses wegen keines besonders guten Rufes, doch ist nicht zu leugnen, dass die Anlage derselben den wissenschaftlich-methodischen Normen, welche man damals für maassgebend erachtete, völlig entspricht; namentlich die Betrachtungen über die Verschiedenheiten in der Länge eines steyermärkischen und eines kroatischen Grades, welche durch die Attraktion der Berge bedingt sein sollen [93], stellen der Kritik des gelehrten Jesuiten kein ungünstiges Zeugniss aus. Es müssen daher wohl konstante Fehler besonderer Art seine Rechnung nachtheilig beeinflusst haben, und da nach Frischauf [94] die Endpunkte von Liesganig's Basis heute noch durch fixe Marken deutlich erkennbar sind, möchte es sich verlohnen, seine Untersuchung nochmals zu rekapituliren.

von Puissant entdeckten Fehler Rücksicht nahm, welchen die französischen Geodäten bei Bestimmung der Abstände der Parallelkreise von Montjouy und Mola (auf Formentera) im Jahre 1808 begangen hatten; es zeigte sich dabei, dass das Meter etwas zu klein angesetzt worden war [102]. Bessel war es aber auch, der darauf aufmerksam machte [103], dass die Beziehungen des Meters zum Erdmeridian nur als etwas Willkürliches und Sekundäres anzusehen wären, wogegen der wahre Werth des metrischen Systemes einzig und allein in dessen harmonischem und konsequentem Aufbau zu suchen sei. Ueber diese Naturmaasse spricht sich ein neuerer Forscher, Listing, in folgender beachtenswerther Weise aus [104]. Es bieten sich im Ganzen vier derselben dar, die Länge des Sekundenpendels, die jedoch von der selbst veränderlichen Grösse der Schwerkraft abhängig ist, die Gauss'sche Gravitationskonstante k, die bislang zwar als unveränderlich erkannt ward, jedoch nur dem sachkundigen Astronomen verständlich ist, die von Weber mit c bezeichnete Grösse in der Elektricitätslehre und die Wellenlänge des einer bestimmten Stelle im Spektrum entsprechenden Lichtstrahles; selbst im letzteren Falle würde jedoch eine Unsicherheit bis zu 0,00025 m übrig bleiben, während bei der Vergleichung von Maassstäben noch kleinere Beträge in Betracht kommen. Das Normalmaass der Natur entnehmen zu wollen, bleibt deshalb ein illusorisches Beginnen.

Wir gedenken hier noch anhangsweise einiger Breitegradmessungen aus den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts. Diejenigen, welche H. C. Schumacher [105] in Jütland, Bessel und Baeyer [106] in Ostpreussen, Gauss [107] in Hannover ausführten, erstreckten sich allerdings nur über kleinere Erdräume, dafür aber zeichneten sie sich durch hohe Genauigkeit aus, und namentlich die von Gauss geleiteten Arbeiten wirkten schule- und epochemachend auf die höhere Geodäsie ein. Ungleich ausgedehnter waren die von Lambton und Everest [108] im östlichen Hindostan, von W. Struve [109] in Russland und von Maclear [110] in Südafrika gemessenen Längen. Gleichwohl standen die aus den einzelnen Operationen errechneten Dimensionen des Erdkörpers unter sich noch in keiner rechten Verbindung, und immer entschiedener erkannte man die Nothwendigkeit, die vielfach zersplitterte Thätigkeit in den einzelnen Ländern einheitlich zusammenzufassen.

§. 8. **Die Längengradmessungen und die europäische Gradmessung.** Hiezu kam noch eine weitere Anregung von Belang. Schon im XVIII. Jahrhundert hatten nämlich D'Alembert und Gerlach [111] sich davon überzeugt, dass Messungen im Meridian nicht ausreichten, um über die Gestalt der Erde vollständig in's Klare zu kommen, dass vielmehr auch in einer dazu senkrechten Richtung Längen gemessen und astronomisch bestimmt werden müssten. Eine detaillirte Triangulation des fünfundvierzigsten Parallelkreises ward von 1811 an auf Laplace's Vorschlag von den Obersten Brousseau und Maurice Henry vorgenommen [112]. Umfänglichere Arbeiten dieser Art jedoch datiren erst von der Gründung des grossen Gradmessungswerkes, welches in dem noch immer thätigen, hochbetagten, preussischen General v. Baeyer (geb. 1794), dem einstigen Gehülfen Bessel's, seinen Schöpfer verehrt.

Im Jahre 1861 veröffentlichte derselbe eine Schrift [113], welche den Plan, nach welchem das Studium der Erdkonfiguration systematisch zu betreiben ist, in seinen Einzelheiten darlegt. Die Messungen der Breitengrade dienen zur Bestimmung der Gestalt und Grösse der Meridiane, während genaue Längengradmessungen allmählig zur Beantwortung der Frage führen können: Ist die Erde ein Rotationskörper, oder ist sie es nicht? Alle Maassnahmen in diesem Sinne bedürfen aber vorhergehender Verständigung der Mitarbeiter, damit nicht Zeit und Kraft nutzlos zersplittert werden, und so erliess denn die preussische Regierung auf v. Baeyer's gutachtliche Aeusserung hin Einladungen an sämmtliche europäische Staaten, um deren Beitritt zur Anfertigung eines Gesammtplanes zu erlangen [114]. Schon im gleichen Jahre 1861 erklärten Frankreich, Dänemark, Coburg-Gotha, Holland, Russland, die Schweiz, Baden, Sachsen, Italien, Oesterreich, Schweden-Norwegen, Bayern, Mecklenburg, Hannover und Belgien (die Reihenfolge der Staaten ist die chronologische) ihre Bereitwilligkeit, in Verhandlungen auf der vorgeschlagenen Basis einzutreten; auf der im Oktober 1864 zu Berlin abgehaltenen Konferenz einigte man sich dahin, die oberste Leitung der — zunächst mitteleuropäischen — Gradmessung einer aus Bevollmächtigten aller Reiche zusammengesetzten permanenten Deputation zu übertragen und das Centralbureau mit der Ausführung der Beschlüsse zu betrauen [115]. Der ursprünglich gewählte Name erwies sich bald als ein zu enger für das riesige Unternehmen, an welchem zur Zeit alle europäischen Staaten mit alleiniger Ausnahme der Türkei participiren. Jedes Land nimmt innerhalb dieser europäischen Gradmessung seine besondere Stellung ein, einem jeden sind selbstständige Aufgaben zugewiesen, über deren Natur man sich am Besten in der mehrfach citirten Broschüre Sadebeck's unterrichten kann [116]. Wir unterlassen es einstweilen, die Endziele der noch auf lange Jahre hinaus den Geodäten und Astronomen eine segensreiche Thätigkeit gewährleistenden Gradmessungsarbeit zu skizziren, da uns das dritte Kapitel dieser Abtheilung ohnehin zu dem vorliegenden Gegenstande zurückführen wird. Nur des Umstandes sei gedacht, dass nach einem Entwurfe W. Struve's vom Jahre 1857 die Längengradmessung längs des zweiundfünfzigsten Parallels von Valentia in Irland bis Orsk an der Ostgrenze des europäisch-russischen Reiches fortgeführt werden soll [117], und dass die vorbereitenden Operationen — insbesondere die Herstellung telegraphischer Zeitbestimmungen zwischen den Hauptsternwarten — bereits zu einem hohen Grade der Vollendung gediehen sind.

§. 9. **Sphäroidische Formeln und Rechnungen.** Wird die Erde als ein Umdrehungsellipsoid betrachtet, so erfahren die üblichen mathematisch-geographischen Begriffe Abänderungen und Erweiterungen, von welchen in Kürze zu sprechen hier der richtige Platz sein wird. Unsere hierauf bezüglichen Erörterungen lehnen sich theilweise an das auch in dieser Beziehung mustergültige Lehrbuch von Martus [118] an.

a) **Die Abplattung der Erde.** Um die Grösse der Abweichung der Meridianellipse von einem Kreise zu taxiren, stehen uns zwei Wege offen. Man kann nämlich entweder die Excentricität ε dieser Kurve

angeben, welche durch die Relation

$$\varepsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

bestimmt ist, wo a und b die Halbaxen der Ellipse bedeuten. Es ist dieser stets unächte Bruch ε gleich der Quadratwurzel aus einem Quotienten, dessen Zähler das Quadrat der Entfernung eines Brennpunktes vom Mittelpunkte, dessen Nenner gleich dem Quadrate der kleinen Halbaxe ist. Gewöhnlich jedoch ersetzt man die Excentricität durch die Abplattung

$$\alpha = \frac{a - b}{a};$$

zwischen beiden Grössen besteht die Proportion $\varepsilon : \alpha = \sqrt{a+b} : \sqrt{a-b}$.

b) **Geographische und geocentrische Breite.** Die Definition des Begriffes der Breite kann auf der kugelförmigen Erde in doppelter Weise gegeben werden, denn es ist offenbar einerlei, ob man die Breite als den Winkel bezeichnet, welchen ein an den betreffenden Ort gezogener Erdradius mit der Aequatorebene bildet, oder als den Winkel, welchen eine in jenem Orte an die Erdoberfläche gezogene Normale mit der Aequatorebene bildet. Beide Erklärungen stimmen jedoch nicht mehr überein auf dem Rotationsellipsoid oder sie thun diess doch wenigstens nur für Punkte, welche entweder auf dem Aequator gelegen sind, oder mit einem der Pole zusammenfallen. Es muss demnach jetzt ein Unterschied zwischen geographischer und geocentrischer Breite gemacht werden. In Fig. 18 haben A, B, C, D, M die nämliche Bedeutung wie in Fig. 17, E ist ein willkürlicher Punkt der Meridianellipse. Verfahren wir nun bei der Breitenbestimmung in der gewöhnlichen Weise, so legen wir in E eine berührende (d. h. horizontale) Gerade an die Ellipse und errichten auf ihr in E eine senkrechte (die vertikale) Linie, welche die grosse Axe in H schneidet; EH wird mit dem Radiusvektor EM im Allgemeinen nicht koincidiren. $\sphericalangle$ AHE $= \varphi$ stellt uns die geographische, $\sphericalangle$ AME $= \varphi'$ die geocentrische Breite dar. Die Beziehung zwischen φ und φ' ist sehr einfach herzustellen. Bekanntlich ist nämlich die trigonometrische Tangente des Winkels, welchen eine Normale an der Kurve $f(x, y) = o$ mit der Abscissenaxe einschliesst, gleich $-\frac{dx}{dy}$, und da $a^2 y^2 + b^2 x^2 = a^2 b^2$ die Ellipsengleichung ist, so wird $\frac{dx}{dy} = -\frac{a^2 y}{b^2 x}$ gefunden. Da also $\tang \varphi = \frac{a^2}{b^2}\frac{y}{x}$, $\tang \varphi' = \frac{y}{x}$ ermittelt ward, so hat man

$$\frac{\tang \varphi}{\tang \varphi'} = \frac{a^2}{b^2}, \quad \tang \varphi' = \frac{b^2}{a^2} \tang \varphi.$$

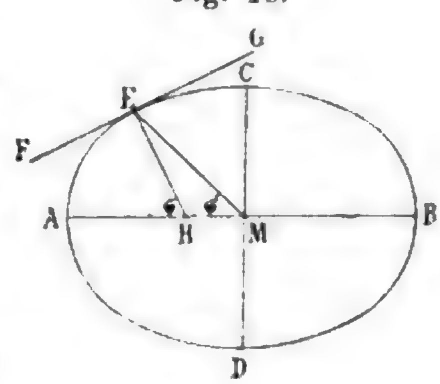


Fig. 18.

c) **Bestimmung der Excentricität durch zwei beliebige Radien.** Kennt man für zwei beliebige geocentrische Polhöhen φ'_1 und φ'_2, die natürlich

zuerst nach der vorigen Formel aus zwei wirklich gemessenen Polhöhen oder Breiten berechnet sein können, die zugehörigen Erdradien r_1 und r_2, so lässt sich die Excentricität der Meridianellipse bestimmen. Versteht man nämlich unter x_1, y_1 und x_2, y_2 die rechtwinkligen Koordinaten der fraglichen Erdorte, so müssen offenbar die Gleichungen

$$a^2 y_1^2 + b^2 x_1^2 = a^2 b^2, \quad a^2 y_2^2 + b^2 x_2^2 = a^2 b^2,$$

oder, wenn man statt der orthogonalen polare Koordinaten einführt, auch die Gleichungen

$$a^2 r_1^2 \sin^2 \varphi'_1 + b^2 r_1^2 \cos^2 \varphi'_1 = a^2 b^2, \quad a^2 r_2^2 \sin^2 \varphi'_2 + b^2 r_2^2 \cos^2 \varphi'_2 = a^2 b^2$$

gelten. Komparation und nachherige Division liefert die neue Gleichung

$$\frac{b^2}{a^2} = \frac{r_1^2 \sin^2 \varphi'_1 - r_2^2 \sin^2 \varphi'_2}{r_2^2 \cos^2 \varphi'_2 - r_1^2 \cos^2 \varphi'_1}.$$

Zieht man endlich noch die beiden Seiten von der Einheit ab, so ergiebt sich

$$\varepsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = \frac{r_2^2 (\cos^2 \varphi'_2 + \sin^2 \varphi'_2) - r_1^2 (\cos^2 \varphi'_1 + \sin^2 \varphi'_1)}{r_2^2 \cos^2 \varphi'_1 - r_1^2 \cos^2 \varphi'_1}$$

$$= \frac{(r_2 - r_1)(r_2 + r_1)}{(r_2 \cos \varphi'_2 + r_1 \cos \varphi'_1)(r_2 \cos \varphi'_2 - r_1 \cos \varphi'_1)}.$$

d) **Berechnung der Excentricität aus gemessenen Gradlängen.** Die Berechnung der neueren Gradmessungen stützte sich meistentheils auf eine elegante Formel Bohnenberger's [119], welche wir nachstehend herleiten. Berechnet man in Fig. 18 die Normale EH $= n$ aus dem Dreieck EMH, in welchem EM $= \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$, HM $= \varepsilon x_1$ und $\sphericalangle \varphi' = \text{arc tang}\left(\frac{b^2}{a^2} \text{tang}\, \varphi\right)$ bekannt sind, so findet man, falls zur Abkürzung noch der halbe Parameter p eingeführt wird,

$$n = \frac{p}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \varphi}}.$$

Einem bekannten Lehrsatze der analytischen Geometrie zufolge verhält sich aber der Krümmungsradius*) der Ellipse R im Punkte (x_1, y_1) zur Normale n, wie das Quadrat dieser Normale zum Quadrate des halben Parameters, d. h. es ist

$$R = \frac{n^3}{p^2} = \frac{p}{(1 - \varepsilon^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}.$$

Unter der Polhöhe φ sei nun ein Grad von der Länge G, unter einer anderen Polhöhe ψ ein Grad von der Länge g gemessen worden: kleine Ellipsenbögen darf man ohne nennenswerthen Fehler ihren Krümmungsradien proportional setzen, und hat also**)

$$G : g = (1 - \varepsilon^2 \sin^2 \psi)^{3/2} : (1 - \varepsilon^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}.$$

---

*) Unter dem Krümmungskreise einer Kurve versteht man bekanntlich einen Kreis, der durch drei benachbarte Kurvenpunkte (x, y), $(x + dx, y + dy)$, $(x - dx, y - dy)$ hindurchgeht und der Kurve sich inniger anschmiegt als irgend ein anderer Kreis zu thun vermöchte.

**) Diese Formel liefert auch den strengen Beweis für die früher nur veranschaulichte Wahrheit, dass mit wachsender Polhöhe auf dem Umdrehungsellipsoid die Gradlängen grösser werden müssen. Ist nämlich $\varphi > \psi$, so ist auch $\varepsilon^2 \sin^2 \varphi > \varepsilon^2 \sin^2 \psi$ und $(1 - \varepsilon^2 \sin^2 \psi) > (1 - \varepsilon^2 \sin^2 \varphi)$. Diese Eigenschaft erhält sich, wenn man jede der beiden Grössen auf eine beliebige Potenz erhebt, und es ist also der Nachweis geführt, dass der unter einer höheren Breite φ gemessene Bogen G den unter einer niedrigeren Breite ψ gemessenen Bogen g an Grösse übertrifft.

Hieraus aber berechnet sich durch eine einfache algebraische Transformation

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{G^{2/3} - g^{2/3}}{G^{2/3} \sin^2 \varphi - g^{2/3} \sin^2 \psi}}.$$

e) **Radius einer dem Sphäroid inhaltsgleichen Kugel.** Da die Abplattung der Erde, wie wir im nächsten Paragraphen sehen werden, keine sehr beträchtliche ist, so empfiehlt es sich häufig, dem Erdsphäroid eine Kugel zu substituiren, deren Halbmesser gewissermassen das Mittel aus den ungleichen Halbmessern des ersteren repräsentirt. Gewöhnlich wählt man hiezu jene Kugel, deren Volumen demjenigen des Ellipsoides gleich ist. Der Kubikinhalt der Kugel wird durch $\frac{4}{3} r^3 \pi$, jener des Sphäroides durch $\frac{4}{3} a^2 b \pi$ ausgedrückt; demgemäss wäre

$$\frac{4}{3} r^3 \pi = \frac{4}{3} a^2 b \pi, \quad r = \sqrt[3]{a^2 b}.$$

Dieser Vermittelungsgrösse werden wir bald wieder begegnen.

§. 10. **Dimensionen des Erdsphäroides.** Für die Abmessungen des Erdkörpers findet man in den verschiedensten Werken auch verschiedene Zahlen angegeben, je nachdem man sich an die eine oder andere Berechnung hält. Ausführliche Untersuchungen auf Grund des zu ihrer Zeit vorliegenden Materiales haben in diesem Sinne v. Lindenau [120], E. Schmidt [121], Bessel [122] und Encke [123] angestellt. Wir ziehen es vor, die von Listing bestimmten Mittelwerthe hier mitzutheilen. Er theilte die wichtigeren Gradmessungen in Gruppen ein und bestimmte für jede einzelne Gruppe das ihren relativen Werth charakterisirende Gewicht. Auf Grund dieser Eintheilung nahm er eine Neuberechnung vor und gelangte so dahin, ein typisches Sphäroid in Vorschlag zu bringen, welches sich am besten zur Vergleichung der bisherigen wie künftigen Sphäroidformen eignen soll [124]. Danach wäre $a = 6\,377\,365$ m, $b = 6\,355\,298$ m, $\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{289}$, ein Meridionalquadrant $= 10\,000\,218$ m, ein Aequatorialquadrant $= 10\,017\,542$ m, $r = \sqrt[3]{a^2 b} = 6\,370\,000$ m, die mittlere Länge eines Breitengrades $= 57009{,}49$ Toisen. Die alte populäre Rechnung, welche den Erdumfang auf 5400, die Länge eines Aequatorgrades auf 15 und den Erdradius auf 859,5 Meilen anschlägt, kann dabei immer noch nebenher bestehen bleiben; Listing hat auch auf sie Rücksicht genommen und (a. a. O.) für sein typisches Sphäroid die Meile $= \frac{a\pi}{2700} = 7420{,}4$ m gesetzt.

Man halte jedoch daran fest, dass all' das Gesagte ausschliesslich dann gilt, wenn die Erde als ein abgeplattetes Drehungsellipsoid aufgefasst wird, dessen kleine Axe zugleich die Rotationsaxe darstellt. Diese Eigenschaften können nur angenähert als für den Erdkörper charakteristisch gelten, und es hat nicht an gelehrten Männern gefehlt, welche die eine oder andere ernstlich in Zweifel ziehen zu sollen glaubten.

§. 11. **Bedenken gegen den Fundamentalsatz der mathematischen Geographie.** In diesem Paragraphen sollen blos solche Bedenken zur Sprache kommen, welche diesen Fundamentalsatz nicht ernstlich zu gefährden vermögen. Von anderen wird später die Rede sein.

a) **Die Erosionshypothese.** Bereits vor hundert Jahren sprach ein Oesterreicher, Gerlach, die Ansicht aus, die Erde sei eigentlich eine Kugel oder doch ein nur ganz unmerklich von jener verschiedener Körper, und man werde sich dereinst davon überzeugen, wenn man hinreichend viele und gute Bestimmungen von Meerestiefen zur Verfügung habe [125]. Denselben Gedanken vertrat G. Bischof in einer besonderen Monographie [126]; die Abplattung ist nach seiner Behauptung nicht ein Erzeugniss der Centrifugalkraft, sondern ein solches der erosiven Kräfte, welche auf der Erdoberfläche ihr ungehindertes Spiel treiben. Der Meeresboden dagegen habe sich, da ihm die Erosion so gut wie gar nicht beikommen könne, seine rein sphärische Form bewahrt, und aus den vorhandenen Lothungen lasse sich dafür der Beweis entnehmen. Sind nämlich r_1, r_2, r_3 . . . für beliebige Punkte auf dem Meere die Radienvektoren, l_1, l_2, l_3 . . . die daselbst gelotheten Meerestiefen, so ist nach Bischof

$$r_1 - l_1 = r_2 - l_2 = r_3 - l_3 = \ldots = \text{Konst.},$$

und diese Konstante ist eben der Halbmesser der eigentlichen Erdkugel. H. J. Klein's eingehende Widerlegung dieser Hypothese [127] betont namentlich die Unmöglichkeit, aus unserem noch so geringen oceanographischen Wissen so weittragende Schlüsse zu ziehen.

b) **Die Hypothese des dreiaxigen Ellipsoides.** Elie Ritter's Versuch [128], die vorhandenen Messungen einem Rotationskörper von nur annähernd elliptischem Meridianschnitte anzupassen, führte nach R. Wolf wesentlich nur zu einer Verifikation der Bessel'schen Zahlen [129]. Dagegen wagte es G. Th. Schubert, direkt das dreiaxige Ellipsoid an Stelle des zweiaxigen zu setzen [130], ein Versuch, der um so näher liegen mochte, als nach Jacobi's Entdeckung (I. Abtheilung, Kap. III, §. 7) die Möglichkeit eines theoretischen Einwandes gegen die Neuerung geschwunden war. Schubert fand $a_1 = 6\,378\,556$ m, $a_2 = 6\,377\,837$ m, $b = 6\,356\,719$ m; der Aequator ist ja jetzt kein Kreis mehr, sondern selbst eine Ellipse, und folglich müssen wir auch für ihn die grosse Halbaxe a_1 von der kleinen Halbaxe a_2 unterscheiden. Die erstere trifft auf der Osthalbkugel den Aequator unter 58° 44' long. (von Ferro), die andere unter 148° 44' long. Sehr viel Anklang hat, zumal in England, die neuerdings von James und Clarke [131] unternommene Untersuchung des dreiaxigen Erdellipsoides gefunden, welcher zufolge $a_1 = 6\,378\,294$ m, $a_2 = 6\,376\,350$, $b = 6\,356\,068$ m ermittelt ward*). „Der grösste Radius kommt nach Clarke auf 15° 34' östliche Länge von Greenwich zu liegen; der grösste Meridiankreis trifft somit Spitzbergen, das Riesengebirge, Messina, den Tsad-See, sowie die Sandwich-Inseln und die westlichsten Theile von Aliaska;

---

*) Die Differenz ($a_1 - a_2$) ist jedenfalls eine sehr geringe. Hind freilich denkt sie sich [132] noch viel geringer, als Schubert oder Clarke, und lässt doch diesen winzigen und nur durch scharfe Rechnung konstatirbaren Unterschied Hebungen und Senkungen, sowie auch die Meeresströmungen hervorrufen! Die Eigenthümlichkeiten der Oberflächengestaltung Nordamerika's leitet er aus dieser einzigen Ursache her.

der kleinste hingegen, 105° 34′ östliche Länge von Greenwich, berührt nahezu das asiatische Nordkap und Irkutsk, führt durch die Mongolei und Hinterindien, geht endlich an der Westküste Patagoniens vorbei und über Ecuador, die Ostspitze China's und Canada nach der Baffinsbay" [133]. Der Grund, weshalb die aus den jedenfalls höchst verdienstlichen Arbeiten Clarke's gezogenen Resultate heute schon wieder verlassen zu werden beginnen, liegt einfach darin, dass gewisse Unregelmässigkeiten der Erdgestalt sich mit dem dreiaxigen Ellipsoide nicht schlechter, aber auch durchaus nicht besser vereinigen lassen, als mit dem zweiaxigen, während es für die Rechnung ungleich bequemer ist, von diesem letzteren auszugehen.

c) **Fergola's Hypothese.** Der Anhänger der Kant-Laplace'schen Nebulartheorie wird sich nicht mit dem Gedanken befreunden können, dass die Umdrehungsaxe des nach und nach in Erstarrung übergegangenen Gasballes, welcher unsere Erde von jetzt darstellt, nicht auch zugleich mit dem kleinsten Durchmesser dieses ellipsoidischen Balles zusammengefallen sei. Gleichwohl ist eine absolute Garantie für diese Koincidenz von geometrischer und kinematischer Axe nicht von vornherein gegeben, und es war deshalb sehr zu billigen, dass Fergola [134] die Prüfung dieser Frage einmal ernstlich in Angriff nahm. Wäre die Sachlage wirklich so, wie sie der neapolitanische Mathematiker voraussetzte, so würden sehr verwickelte Verhältnisse die Folge davon sein. Geometrischer Meridian wäre jeder die geometrische Axe in sich enthaltende ebene Schnitt, und senkrecht dazu stünde der durch das Centrum des Erdellipsoides hindurchgehende geometrische Aequator. Schwieriger wäre der astronomische Meridian eines Ortes zu ermitteln; man müsste in diesem Punkte eine Normale an die Ellipsoidfläche ziehen und durch sie eine Ebene parallel zur Umdrehungsaxe legen; würden dann alle Punkte, deren Meridianebenen selbst wieder parallel verlaufen, durch einen Kurvenzug verbunden, so wäre eben dieser selbst identisch mit dem gesuchten astronomischen Meridian. Alle Punkte, für welche die Normalen einen und denselben Winkel mit der Rotationsaxe einschliessen, erfüllen einen geographischen Parallel; derselbe wäre im Allgemeinen eine unregelmässige Raumkurve von doppelter Krümmung, und ein Gleiches gälte für jede Orthogonalkurve des Parallels, d. h. für den geographischen Meridian. Glücklicherweise bleibt diese Scheidung für unsere Erde belanglos, denn während nach Fergola's erster Berechnung der Winkel zwischen beiden Axen einen Werth von 1° 8′ 24″ erreichen sollte, gelangt die zweite Schrift, welche der genannte Autor diesem interessanten Gegenstande widmete [135], zu dem beruhigenden Schlusse [136], dass, obwohl eine kleine Ablenkung der mechanischen gegenüber der geometrischen Axe nach wie vor als im Bereiche der Möglichkeit liegend anerkannt werden müsse, doch für die Praxis das Zusammenfallen beider Axen als eine Thatsache hingenommen werden dürfe. —

Somit schiene denn die Newton'sche Theorie vom Rotationsellipsoid gegen alle Einwürfe siegreich zu bleiben. Gewisse Erwägungen des nächsten Kapitels werden uns dagegen mit gefährlicheren Schwierigkeiten bekannt machen, und im dritten Kapitel erst wird gezeigt werden können, wie sich diesen Schwierigkeiten begegnen lässt, ohne mehr

als einige minder wesentliche Nebenpunkte der sphäroidischen Hypothese zu opfern.

[1] Herodoti historia, lib. IV. cap. 36. — [2] Ibid. lib. III. cap. 104. — [3] Köler, Allgemeine Geographie der Alten, Lemgo 1803. S. 89. — [4] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Alexander v. Humboldt und Carl Ritter, München 1877. S. 30. — [5] H. Berger, Zur Entwickelung der Geographie der Erdkugel bei den Hellenen, Grenzboten, 39. Jahrgang. S. 411. — [6] Köler, Allg. Geogr. etc. S. 90 ff. — [7] Stölzle, Die Lehre vom Unendlichen bei Aristoteles mit Berücksichtigung früherer Lehren über das Unendliche, Augsburg 1882. S. 5. — [8] Peschel-Ruge, Gesch. d. Erdk. etc. S. 34. — [9] Bergel, Der Himmel und seine Wunder; eine archäologische Studie nach alten jüdischen Mythographen, Leipzig 1881. — [10] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Rücksicht auf Schöpfungsgeschichte, 1. Abtheilung, Gütersloh 1878. S. 124. — [11] Günther, Die kosmographischen Anschauungen des Mittelalters, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 4. Jahrgang. S. 249 ff. S. 313 ff. S. 345 ff. — [12] Marinelli, La geografia e i padri della chiesa, Roma 1882. — [13] Zöckler, Gesch. etc. 1. Abtheil. S. 125 ff. — [14] Nicolaus Coppernicus aus Thorn über die Kreisbewegungen der Weltkörper, deutsch von Menzzer, Thorn 1879. S. 7. — [15] Pindter-Parthey, Ravennatis Anonymi Cosmographia, Berolini 1860. — [16] Marinelli, La geografia etc. S. 41. — [17] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 5 ff. — [18] Gilbert, Le pape Zacharie et les antipodes, Bruxelles 1882. — [19] Défense de la révélation contre les objections des forts esprits par M. Euler, suivies des pensées de cet auteur sur la réligion, Paris 1805. — [20] v. Stälin, Württembergische Geschichte, 1. Band, Stuttgart 1841. S. 405. — [21] Günther, Die Kartenprojektionslehre im Verlaufe des letzten Jahrzehntes, Wagner's geogr. Jahrb., 9. Band. S. 435 ff. — [22] Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale et autres bibliothèques, Tome IV, Paris An VII. S. 260. — [23] Günther, Studien etc. S. 69. — [24] Peschel-Ruge, Gesch. d. Geogr. etc. S. 120. — [25] Günther, Studien etc. S. 71. — [26] Ibid. S. 63. — [27] J. F. Sédillot, Traité des instruments astronomiques des Arabes composé au treizième siècle, par Aboul Hhas'an Ali, de Maroc, Paris 1834. S. 73. — [28] Günther, Studien etc. S. 106. — [29] Ibid. S. 88. — [30] Heeren, Eine japanische Erdkugel, Mittheil. d. Gesellsch. f. Natur- und Völkerkunde Ostasiens, 1. Band, 2. Heft. S. 9 ff. — [31] Birnbaum, Grundzüge der astronomischen Geographie, Leipzig 1852. S. 11 ff. — [32] Fahle, Die Kugelgestalt der Erde, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 2. Jahrgang. S. 322 ff.; Pick, Die Kugelgestalt der Erde, ibid. 2. Jahrgang. S. 505 ff. — [33] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S 47. — [34] Jagor, Reise in den Philippinen, Berlin 1873. S. 180. — [35] Dufour, De l'altération des images par réflexion sur la surface des eaux, Bull. de la soc. vaud. des sc. natur., Vol. XIII. S 303 ff. — [36] Archimedis opera omnia, cum commentariis Eutocii, ed. Heiberg, Vol. II., Lipsiae 1881. S. 366. — [37] Günther, Studien etc. S. 100. — [38] Notices et extraits etc., Tome IV. S. 261. — [39] Guthe-Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1. Band, Hannover 1882. S. 444. — [40] Köler, Allg. Geogr. etc. S. 93 ff. — [41] Günther, Studien etc. S. 146 ff. — [42] Ibid. S. 148 ff. — [43] W. Schmidt, Ueber Dante's Stellung in der Geschichte der Kosmographie, 1. Theil, Graz 1876. — [44] Poletto, L'opusculo di Dante Allighieri, „De aqua et terra“, in raffronto al moderno progresso delle scienze fisiche, Venezia 1883. — [45] Günther, Studien etc. S. 163 ff. — [46] Nicolaus Coppernicus etc. S. 12 ff. — [47] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band. Leipzig 1879. S. 142. — [48] Holetschek, Erdkrümmungsfragen, Zeitschr. f. Schulgeogr., 4. Jahrgang. S. 155 ff. — [49] Gelcich, Eine Studie über die Entdeckung der analytischen Geometrie, Abh. z. Gesch. d. Math., 4. Heft, Leipzig 1882. S. 209. — [50] Gelcich, Ueber den Vorschlag des Marino Ghetaldi, die Grösse der Erde zu bestimmen, Zeitschr. f. Math. u. Phys., h.-l. Abth. 28. Jahrgang. S. 130 ff. — [51] Pelz, Ueber das Problem der Glanzpunkte, Wien 1871. — [52] J. Müller, Lehrb. d. kosm. Phys. S. 50 ff. — [53] H Berger, Die geographischen Fragmente des Eratosthenes neu gesammelt, geordnet und besprochen, Leipzig 1880. S. 101 ff. — [54] Günther, Die Erdmessung des Eratosthenes, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 3. Jahrgang. S. 327 ff. — [55] Lepsius, Das Stadium und die Gradmes-

sung des Eratosthenes auf Grundlage der ägyptischen Maasse, Zeitschr. f. ägypt. Sprache und Alterthumskunde, 15. Jahrgang. S. 8 ff. — [56] Sprenger, Zur Geschichte der Erdmessungen im Alterthum, Ausland 1867. S. 1016 ff. — [57] Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Auflage, 3. Band, Leipzig 1827. S. 843 ff. — [58] Posch, Geschichte und System der Breitengradmessungen. Freising 1860. — [59] v. Bauernfeind, Die Bedeutung moderner Gradmessungen, München 1866. — [60] Sadebeck, Entwickelungsgang der Gradmessungsarbeiten und gegenwärtiger Stand der europäischen Gradmessung, Berlin 1876. — [61] Zusammenstellung der Literatur der Gradmessungsarbeiten, Berlin 1876. — [62] Caji Plinii Secundi historiae naturalis libri XXXVII. lib. II. cap. 109. — [63] Bailly, Geschichte der neueren Astronomie, deutsch von Bartels, 1. Band, Leipzig 1796. S. 37 ff. — [64] Ibid. S. 211. — [65] Notes et extraits etc., Tome VII, Paris 1804. S. 95. — [66] Brevis ac perutilis compilatio Alfragani astronomorum peritissimi, totum id continens, quod ad rudimenta astronomica est opportunum, Norimbergae 1537. Fol. 8. — [67] Fernel, Cosmotheoria seu de forma mundi et de corporibus coelestibus, Parisiis 1528. — [68] Willebr. Snellius, Eratosthenes Batavus seu de terrae ambitus vera quantitate suscitatus, Lugduni Batavorum 1617. — [69] Schwerd, Die kleine Speyerer Basis, Speier 1822. — [70] Heel, Dr. Friedrich Magnus Schwerd, ein Nekrolog, Speier 1872. S. 10. — [71] Montucla, Histoire des mathématiques, tome II, Paris 1758. S. 315. — [72] Gehler's Physik. Wörterb., 3. Band. S. 847. — [73] Picard, La mesure de la terre, Paris 1671. — [74] J. J. v. Littrow, Geschichte der Entdeckung der allgemeinen Gravitation durch Newton, Wien 1835. S. 38 ff. — [75] Gehler's Physik. Wörterb., 3. Band. S. 849 ff. — [76] Cantor, Mathematische Beiträge zum Kulturleben der Völker, Halle 1864. S. 398. — [77] Chasles, Geschichte der Geometrie, hauptsächlich mit Rücksicht auf die neueren Methoden, deutsch von Sohncke, Halle 1839. S. 517. — [78] Günther, Studien etc. S. 162. — [79] Ibid. S. 171 ff. — [80] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 614. — [81] Jacques Cassini, Traité de la grandeur et de la figure de la terre, Paris 1720. — [82] Eisenschmidt, Diatribe de figura telluris elliptico-sphaeroide, ubi una exhibitur ejus magnitudo per singulas dimensiones consensu omnium observationum comprobata, Argentorati 1691. — [83] R. Wolf, S. 616 ff. — [84] Bouguer, La figure de la terre, déterminée par les observations de M. M. De la Condamine et Bouguer, Paris 1749. — [85] Bouguer, Justification des mémoires de l'académie et du livre sur la figure de la terre, Paris 1752. — [86] Maupertuis, Sur la figure de la terre, déterminée par les observations de M. M. Maupertuis, Clairault, Camus, Le Monnier et Outhier, Amsterdam 1738; Id., La figure de la terre déterminée par les observations faites par ordre du roy dans le cercle polaire, Paris 1738. — [87] Nürnberger, Populäres astronomisches Handwörterbuch, 1. Band, Kempten 1856. S. 1011 ff. — [88] La Caille, Journal historique du voyage fait au cap de Bonne-Espérance, publié par Carlier, Paris 1763. — [89] Boscovich-Maire, De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridiani gradus, Romae 1755. — [90] Chr. Mayer, Basis Palatina, anno 1762 ad normam Academiae Regiae Parisinae scientiarum exactam bis dimensa, Manhemi 1763. — [91] Maskelyne, Introduction to the observations made by Chr. Mason and J. Dixon for determining the length of a degree of latitude in the provinces of Maryland and Pennsylvania, London 1768. — [92] Liesganig, Dimensio graduum meridiani Viennensis et Hungarici Augg. jussu et auspiciis peracta, Vindobona 1770. — [93] Ibid. S. 209 ff. — [94] Frischauf, Gebirgsführer durch die österreichischen Alpen und die angrenzenden Theile von Bayern, Italien und Montenegro, Wien 1883. S. 15. — [95] Beccaria, Gradus Taurinensis, Augustae Taurinorum 1774. — [96] Roy, An account of the trigonometrical operations, whereby the distance between the meridians of the royal observatories of Greenwich and Paris are determined, London 1790. — [97] J. D. Cassini, Exposition des observations faites en France 1787, pour la jonction des méridiens de Paris et de Greenwich, Paris 1792. — [98] Dalby, A short account of the late R. Burrow's measurement of a degree of longitude and another of latitude near the tropic in the years 1791 and 1792, London 1796. — [99] Svanberg, Exposition des operations faites en Lapponie pour la détermination d'un arc du méridien en 1801—3 par Öfverbom, Svanberg, Holmquist et Palander, Stockholm 1805. — [100] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 621 ff. — [101] Ibid. S. 625. — [102] Bessel, Ueber einen Fehler in der Berechnung der französischen Gradmessung und seinen Einfluss auf die Bestimmung der Figur der Erde, Astron. Nachr. Nr. 438. — [103] Bessel, Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, herausgeg. v. Schumacher, Hamburg 1848. S. 283. — [104] Listing, Ueber unsere jetzige Kenntniss von der Gestalt und Grösse der Erde, Nachr. v.

d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen, 1873. S. 76 ff. — [105] H. C. Schumacher, Nachricht über den Apparat, dessen er sich 1820 zur Messung der Basis bei Braake bediente, Altona 1821. — [106] Bessel, Gradmessung in Ostpreussen, Berlin 1838. — [107] Gauss, Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona, Göttingen 1828. — [108] Everest, An account of the measurement of an arc of the meridian, London 1830. — [109] W. Struve, Arc du méridien de 25° 10′ entre le Danube et la mer glaciale, mesuré 1810—55 sous la direction de C. de Tenner, Chr. Hansteen, N. H. Selander, W. Struve, St. Pétersbourg 1860. — [110] Maclear, Verification and extension of La Caille's arc of meridian at the Cape of Good Hope, London 1866. — [111] Gerlach, Die Bestimmung der Gestalt und Grösse der Erde, Wien 1782. S. 36 ff. — [112] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 627 ff. — [113] v. Baeyer, Ueber die Figur und Grösse der Erde, Berlin 1861. — [114] Sadebeck, Entwickelungsgang etc. S. 21. — [115] Ibid. S. 22. — [116] Ibid. S. 35 ff. — [117] Ibid. S. 19. — [118] Martus, Astronomische Geographie, ein Lehrbuch angewandter Mathematik, Leipzig 1880. S. 219 ff. — [119] Bohnenberger, Astronomie, Tübingen 1811. S. 187 ff. — [120] v. Lindenau, Ueber den Gebrauch der Gradmessungen zur Bestimmung der Gestalt und Grösse der Erde, (v. Zach's) Monatl. Corresp. z. Bef. d. Erd- u. Himmelskunde, XIV. S. 138 ff. — [121] E. Schmidt, Ueber die Dimensionen des Erdkörpers, Harding's Ephemeriden 1831. — [122] Vgl. N. 102. — [123] Encke, Ueber die Dimensionen des Erdkörpers, nebst Tafeln nach Bessel's Bestimmungen, Astron. Jahrb. f. 1852. — [124] Listing, Ueber unsere jetzige Kenntniss etc. S. 41 ff. — [125] Gerlach, Die Bestimmung etc. S. 61 ff. — [126] G. Bischof, Die Gestalt der Erde und der Meeresfläche und die Erosion des Meeresbodens, Bonn 1867. — [127] H. J. Klein, Entwickelungsgeschichte des Kosmos nach dem gegenwärtigen Standpunkte der gesammten Naturwissenschaften, Braunschweig 1870. S. 7 ff. — [128] E. Ritter, Recherches sur la figure de la terre, Genève 1861. — [129] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 631. — [130] G. Th. Schubert, Essai d'une détermination de la véritable figure de la terre, Mém. de l'ac. imp. des sc. de St. Pétersbourg, (VII) tome I. N. 6. — [131] Clarke, Comparison of the standards of length made at the Ordnance Survey Office, London 1866. S. 285 ff. — [132] Hind, The figure of the earth in relation to geological inquiry, Nature, Vol. X. S. 156 ff. — [133] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk. S. 166. — [134] Fergola, Sulla posizione dell' asse di rotazione della terra rispetto all' asse della figura, Napoli 1874. — [135] Fergola, Dimensioni della terra e ricerca della posizione del suo asse di figura rispetto a quello di rotazione, Napoli 1876. — [136] Ibid. S. 26.

Kapitel II.

Die Attraktionsphänomene und deren Anwendung zur Bestimmung der Gestalt und Dichte der Erde.

§. 1. **Die allgemeine Gravitation.** Die Vorstellung, dass allen Körpern eine gegenseitige Anziehungskraft zukomme, reicht in unbestimmten Umrissen bis in das Alterthum hinauf, wie denn schon Aristoteles (§. 2 des vorigen Kapitels) die sphärische Rundung sich selbst überlassener Massen in dieser Weise zu erklären suchte. Einigermassen klarer dachte hierüber Kepler, dessen Ideen man am besten in seinem berühmten Werke über den Planeten Mars vereinigt findet, und der u. a. bereits die These aufstellte [1], dass, wenn die Erde nicht rund wäre, für die Fallrichtung der Körper sich kein so bestimmtes Gesetz aufstellen liesse, wie wir es bekanntlich zu thun in der Lage sind. Welche Unklarheiten gleichwohl selbst bei den besseren Köpfen des XVII. Jahrhunderts über diese Fragen noch herrschten,

erhellt aus der Thatsache, dass in einem gelehrten Werke [2] Beaugrand's, eines sonst nicht ungeschickten Mathematikers, ein geometrischer Beweis dafür erbracht werden sollte, ein Körper habe ein um so grösseres Gewicht, je näher er sich dem Mittelpunkte der Erde befinde. Erst Newton's grosse Entdeckung machte eine kausale Begreifung der kosmischen Erscheinungen möglich; er prüfte an der Hand der Rechnung, ob nicht der ihm zufällig gekommene Gedanke, dass der Mond von derselben Kraft in seiner Kreisbahn erhalten werde, welche den losgelassenen Stein zur Erde fallen macht, eine tiefere Bedeutung habe, und fand seine Vermuthung vollständig gerechtfertigt; niedergelegt ist diese Entdeckung in dem denkwürdigen 4. Theorem des 3. Buches seiner „Principia naturalis philosophiae mathematica", das in Wolfers' Verdeutschung lautet [3]: „Der Mond ist gegen die Erde schwer, er wird durch die Schwere von der geradlinigen Bewegung abgezogen und in seiner Bahn erhalten." Die grosse Neuerung vermochte allerdings nur sehr langsam sich Bahn zu brechen, namentlich auf dem Festlande, wo selbst ein Johann Bernoulli und Euler ihr widerstrebten, indem sie freilich ohne Scheu die Newton'schen Regeln bei ihren Rechnungen benützten [4], doch gelang es dem unermüdeten Eifer eines Halley, Louville, D'Alembert, Clairaut u. a., dem Gravitationssysteme noch im Laufe des XVIII. Säkulums zum endgültigen Siege zu verhelfen. Newton's Fundamentalsatz besagt Folgendes: Zwei Massen M_1 und M_2, deren gegenseitige Entfernung r beträgt, ziehen sich mit einer Kraft an, deren mathematischer Ausdruck

$$k \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$$

ist, unter k die sogenannte Gravitationskonstante verstanden. Es ist namentlich darauf Gewicht zu legen, dass die Anziehung keine einseitige, sondern zufolge dem ebenfalls von Newton [5] gefundenen Satze von der Gleichheit zwischen Wirkung und Gegenwirkung eine relative ist; die einzelnen Planeten bewegen sich nicht etwa um die in absoluter Ruhe verbleibende Sonne, sondern diese Planeten kreisen sammt der Sonne um den gemeinsamen Schwerpunkt des ganzen Systemes, der nur wegen der Ueberwucht des Centralkörpers sich nicht sehr weit von dem Schwerpunkte des letzteren entfernen kann. Worin eigentlich das Wesen der Schwerkraft bestehe, wissen wir nicht zu sagen, obwohl es von Newton — der selbst jedoch nur mit grosser Vorsicht diesen Punkt erörterte — bis auf Zöllner an Hypothesen in dieser Richtung keineswegs gemangelt hat. Eine treffliche Uebersicht über diese Theorieen bietet das Werk von Isenkrahe [6], in welchem gleichzeitig nicht ohne Glück der Versuch gemacht wird, die Anziehung der Massen durch den Stoss von Aetheratomen zu erklären.

In neuester Zeit ist viel davon gesprochen worden, dass der obige Ausdruck des Gravitationsgesetzes zwar nicht gerade unrichtig, aber doch nur als eine erste Näherung für eine allgemeinere Formel anzusehen sei, welche die attraktiven und repulsiven Wirkungen innerhalb der Körperwelt regle. Namentlich Zöllner hat in jenem Abschnitte seines uns nun schon mehrfach bekannten Kometenwerkes, welcher „über die allgemeinen Eigenschaften der Materie" handelt [7], die Möglichkeit ausführlich erörtert, dass dem Newton'schen das Weber'sche elektrodynamische Grundgesetz zu substituiren sei, welches für einen

unendlich grossen Werth der darin vorkommenden Konstante eben in ersteres übergeht; Scheibner habe die Substitution astronomisch geprüft und sei zu folgendem Resultate gekommen [8]: „Unter Beibehaltung des numerischen Werthes der Weber'schen Konstante*) könnte ein Unterschied höchstens in der Bewegung des Merkur beobachtet werden, indem hier eine säkuläre Aenderung des Perihels von 6,73 Bogensekunden hervorgebracht würde. Bei der Venus betrüge dieser Einfluss nur noch 1'',43." So kleine Differenzen geben uns die Beruhigung, dass an der Newton'schen Grundformel zunächst keine Korrektion angebracht zu werden braucht. Auch v. Oppolzer entscheidet sich am Schlusse einer tief eingehenden Prüfung des Gegenstandes [9] in diesem Sinne. Er selbst hat [10] versucht, gelegentlich den Anomalieen in der Bewegung des Encke'schen Kometen mittelst der Hülfsvorstellung beizukommen, dass die Schwerkraft zu ihrer Fortpflanzung im Raume einer endlichen Zeit bedürfe, allein auch die Einführung dieser Hypothese war nicht dazu angethan, volle Befriedigung zu schaffen. Wir können also darauf verzichten, diese Möglichkeit in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen, ebenso wie manche andere, z. B. die von Isenkrahe [11] angedeutete, dass Temperaturänderungen die Intensität beeinflussen möchten — und wir können diess um so eher, als wir es hier der Hauptsache nach nur mit irdischen, also vergleichsweise sehr kleinen Entfernungen zu thun haben.

§. 2. **Mittel, die Schwere und ihre Variationen zu messen.** Das wichtigste der Hülfsmittel, über welche man zu dem angegebenen Zwecke verfügt, wird im fünften und sechsten Paragraphen einer gesonderten Besprechung unterzogen werden; hier sollen einige Verfahrungsweisen von an sich mehr untergeordneter Bedeutung besprochen werden, welche jedoch eine gewisse Wichtigkeit für die tellurische Physik theils schon erlangt haben, theils möglicherweise noch zu erreichen berufen sind**).

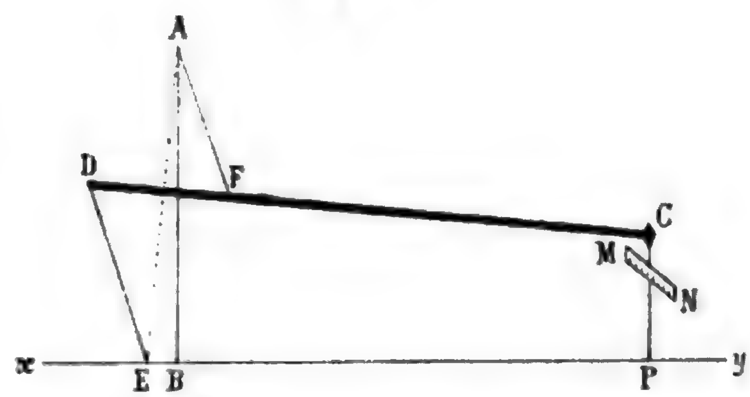
a) **Hengler's Schwungwage.** In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts gab ein junger Physiker, Namens Lorenz Hengler, über dessen ungewöhnlichen Lebensgang die biographische Notiz Zech's [13] nachzusehen ist, unter dem Namen Schwung- oder Pendelwage eine eigenthümliche Vorrichtung zum Messen sehr kleiner anziehender Kräfte an, auf welche, da der betreffende Aufsatz [14] längst verschollen war, erst durch die geschichtlichen Artikel von Safařik [15] und Zöllner [16] wieder von Neuem aufmerksam gemacht werden musste. Das Princip der bifilaren Aufhängung, später von Gauss zur höchsten Vollendung gebracht, ist bereits von Hengler angewandt worden. Eine lange dünne Stange CD (Fig. 19) ist nahe ihrem einen Ende durch zwei gleichlange Fäden DE und FA mit zwei festen Punkten verbunden, deren ersterer, E, sich auf dem Fussboden xy befindet, während der andere, A, sich in einer gewissen Höhe befindet, so zwar, dass der Fusspunkt B eines von A auf die Horizontalebene gefällten Lothes nicht mit E zusammenfällt, sondern um eine kleine Strecke EB

*) Dieselbe hat nämlich an und für sich schon einen sehr hohen Werth.

**) Vgl. einen zusammenfassenden Aufsatz [12] des Verf. über die geophysikalische Verwerthung solcher Methoden.

von ihm abliegt. In C trägt die Stange einen Index, der, sobald erstere in Schwingungen gerathen ist, deren Grösse auf einer senkrecht über P errichteten horizontalen Skale MN markirt. Hengler hat mit dieser empfindlichen Vorrichtung zahlreiche Versuche über die ablenkende Kraft angenäherter schwerer Körper angestellt und, wie z. B. sein Lehrer Gruithuisen mittheilt [17], konnte die Attraktion einer Kanonenkugel bereits deutlich sichtbar gemacht werden. Hengler bedauerte nur sein Unvermögen, störende Einflüsse (Wärme, Luftströmungen u. s. w.) von seinem Apparate ferne zu halten: „ich bin überzeugt,“ schrieb er [18], „dass man die Attraktionskraft des Mondes selbst und daher auch seine Masse durch dieses Instrument genau bestimmen kann, sobald man ein dazu taugliches Lokal hat.“ Von anderen Versuchen mit der Schwungwage im IV. Kapitel.

Fig. 19.



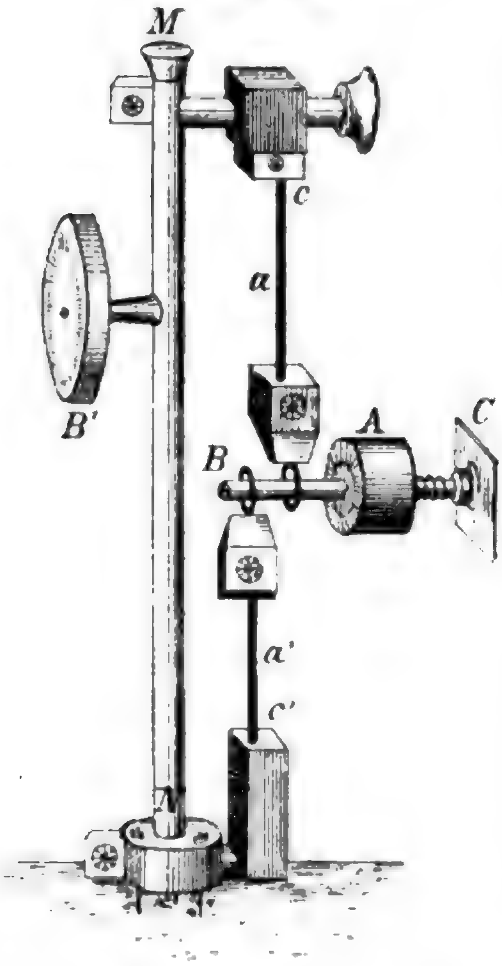
b) **Perrot's Apparate.** Auf einem ähnlichen Grundgedanken beruht offenbar der zweite der beiden Apparate, mit welchen Perrot [19] kleine Aenderungen in Grösse und Richtung der Schwerkraft zu messen gedachte. Der erste, sinnreich kombinirt, allein von allzuvielen Fehlern abhängig, besteht wesentlich aus einer Platte, die an einem langen Spiraldraht aufgehängt wird. Legt man auf selbe ein Gewicht, so wird eine doppelte Bewegung eingeleitet, eine rotatorische und eine vertikal nach unten gerichtete. Letztere vernachlässigend, meint Perrot, könnte man etwa noch $1/10000000$ in der Veränderung der Erdschwere durch Drehung konstatiren, d. h. eine Aktion, zehnmal geringer, wie die vom Monde ausgeübte. Der zweite Apparat war, wie schon gesagt, ein an zwei Drähten aufgehängter Stab, den sein Verfertiger sensibler zu machen sich getraute, als eine Wasserwage, bei welcher die Ablenkung der Blase um 3 mm einer Bogensekunde entspricht. Den Einwirkungen der Temperaturschwankung glaubte Perrot [20] begegnen zu können.

c) **Zöllner's Horizontalpendel.** Ohne von den Vorarbeiten Hengler's und Perrot's Kenntniss zu haben, ersann Zöllner eine dem Wesen nach analoge, nur in den Einzelheiten weit zuverlässigere Vorrichtung zur Messung sehr kleiner Kräfte (elektrische und magnetische Minimalaktionen, irdische Centrifugalkraft u. s. w.) [21]; später hat er den Verdiensten jener Vorläufer ausdrücklich Rechnung getragen (s. o.). Er nannte das Instrument Horizontalpendel, brachte die zu Hengler's Zeit noch unbekannte Poggendorff'sche Spiegelablesung daran an und stellte es in dem einer sehr gleichmässigen Temperatur sich erfreuenden Keller des Leipziger Universitätsgebäudes auf; später kam es, da sich doch seismische Störungen daselbst bemerklich machten, in einen eigens dafür hergestellten Kuppelbau des astrophysikalischen Observatoriums*). Zöllner's Beschreibung [23] ist folgende: Uhrfedern

*) Das astrophysikalische Observatorium (Sonnenw.) bei Potsdam besitzt

a, a' vertreten die Stelle der Drähte: dieselben werden durch das Gewicht A mit dem Spiegel C in Spannung erhalten (Fig. 20). Die Uhrfedern sind in c und c' eingeschraubt, und die parallelepipedischen Büchsen, in welchen sie endigen, stehen in direkter Verbindung mit dem oberen und unteren Ende der Vertikalsäule MN, welche das Ganze trägt. B' ist ein Gegengewicht. Das Ganze ruht auf dem gewöhnlichen, mit drei Stellschrauben versehenen Stativ, und zwar muss eine dieser Stellschrauben in der durch die Aufhängepunkte c und c' bestimmten Vertikalebene enthalten sein. Der Spiegel konstatirte noch Ablenkungen von der Lothlinie, die nicht grösser waren, als $^1/_{1000}$ Bogensekunde. Zöllner ist der Meinung, dass, wenn das Instrument in einem tiefen Schachte aufgestellt und daselbst nicht etwa durch immerhin denkbare Fluthbewegungen des feurigflüssigen Erdinneren alterirt würde, dadurch recht wohl jene geringen Anziehungen von Sonne und Mond nachzuweisen wären, welche Peters (s. unten) berechnete. Das Pendel muss sowohl beim Auf- und Untergang, als auch bei den Kulminationen dieser Himmelskörper durch den Meridian gehen, und zwar nicht verspätet, wie dies bei den Gezeiten des Meeres der Fall ist, sondern synchron; vielleicht liesse sich also auch mit seiner Hülfe die von Zöllner selbst und von v. Oppolzer (s. o.) aufgeworfene Frage entscheiden, ob der Gravitation eine Momentanwirkung zukomme oder nicht. Eine elegante und einfache mathematische Theorie des Horizontalpendels haben wir von Stoll [24]; dort wird gezeigt, dass die beschleunigende Kraft beim letzteren sich von jener beim Vertikalpendel nur um den Faktor tang φ unterscheidet, wo φ den sehr kleinen Winkel bedeutet, welchen eine die Punkte c und c' (Fig. 20) verbindende Gerade mit der Vertikalen bildet.

Fig. 20.



d) **Messung der Schwerkraft durch die Wasserwage.** Gruithuisen erzählt im Eingang seiner oben erwähnten Abhandlung, der berühmte Mechaniker G. v. Reichenbach habe ihm für solche Messungen eine sehr grosse Wasserwage vorgeschlagen. Hengler gedachte die letztere durch seine neue Nivellirwage zu ersetzen, welche (s. o.) nach seiner Angabe auch wirklich durch den Mechaniker Weissenbach ausgeführt und der Münchener Akademie vorgelegt worden wäre. Eingehende Untersuchungen über den Einfluss der Attraktion auf eine Libelle oder Wasserwage hat Peters [25] angestellt. Eine solche besteht bekannt-

---

ein Horizontalpendel, welches seinen geeigneten Platz auf der Sohle des tiefen Brunnenschachtes gefunden hat [22]. Messungen scheinen übrigens mit demselben noch nicht angestellt worden zu sein.

lich aus einer gekrümmten Glasröhre, deren Krümmungsradius aber sehr gross sein muss; gefüllt ist sie mit Weingeist oder einer anderen Flüssigkeit, jedoch nicht gänzlich, vielmehr ist ein kleiner luftleerer Raum übrig gelassen [26], der fälschlich als Luftblase bezeichnet wird. Diese Blase muss bei jeder Bewegung der Röhre stets den höchsten Platz einnehmen, und die auf einer — im Glase eingeritzten — Theilung abzulesende Ausschlagsgrösse liefert ein Maass für die Grösse der Bewegung. Nun habe ein Gestirn vom Erdmittelpunkt und vom Apparate resp. die Entfernungen r und r', die Zenithdistanzen, unter welchen das Gestirn, dem die Masse m zukommt, von beiden Punkten aus gesehen wird, seien z und z'; berechnet man dann jene Komponenten der auf die Flüssigkeit wirkenden Gestirnsattraktion, welche auf der durch Gestirn und Libelle gelegten Vertikalebene senkrecht steht, so ist dieselbe gleich $m r'^{-2} \sin z'$, während die auf die Röhre ausgeübte Attraktion durch $m r^{-2} \sin z$ ausgedrückt ist. Jene Kraft also, die den flüssigen Inhalt in einer dem Azimut des anziehenden Himmelskörpers entsprechenden Richtung bewegen will, ist gleich der Differenz

$$m\left(\frac{\sin z'}{r'^2} - \frac{\sin z}{r^2}\right).$$

Bedeutet h die in Sekunden ausgedrückte Horizontalparallaxe des Sternes, ρ den Halbmesser, M die Masse der Erde, so ist der Ablenkungswinkel

$$m\left(\frac{\sin z'}{r'^2} - \frac{\sin z}{r^2}\right) : \frac{M}{\rho^2} = \frac{3\,m}{2\,M}\, h^3 \sin 2\,z \sin 1''.$$

Wird endlich jener Theil der Ablenkung berechnet, welcher auf ein vom Azimut a differirendes Azimut a' entfällt, so ist dieser Betrag gleich

$$\frac{3\,m}{2\,M}\, h^3 \sin 2\,z \cos (a - a') \sin^2 1''.$$

Bei gleichen z' a und a' verhalten sich die Ablenkungen von Sonne und Mond zu einander wie 0,0080 : 0,0174. Die Ablenkung des Mondes, obwohl an sich die stärkere, wird für gewöhnlich vernachlässigt werden können, jene der Sonne aber nur unter besonderen Verhältnissen, welche Peters näher erörtert*).

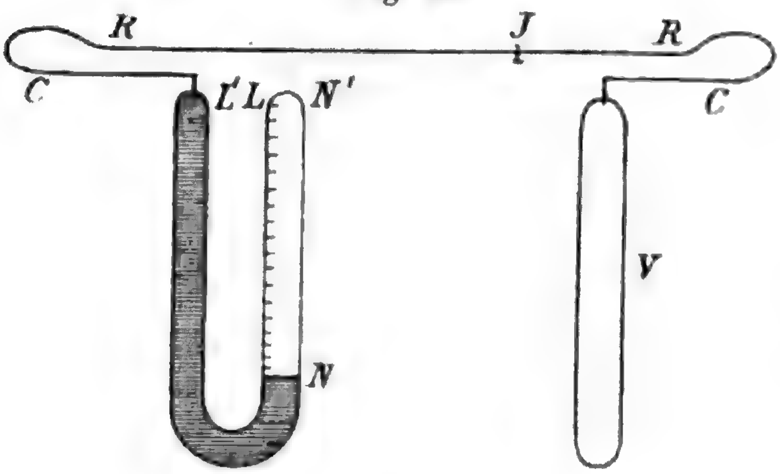
c) **Messung der Schwere durch die veränderliche Länge von Quecksilbersäulen.** Die bisher besprochenen Vorrichtungen hatten wesentlich die Sichtbarmachung und eventuelle Messung von Kraftäusserungen kosmischen Ursprunges zum Zwecke. Speziell für terrestrische Schweredifferenzen brachte Mascart, auf einen schon früher ausgesprochenen Gedanken Boussingault's zurückgreifend, die variable Länge einer Quecksilbersäule in Vorschlag [28]. Eine bestimmte Gasmasse wird auf stets konstanter Temperatur erhalten, und der Druck, welchen sie

---

*) Eine sehr grosse Schärfe wird sich bei all' diesen Messungen mit der Libelle freilich um deswillen niemals erreichen lassen, weil für den Gang der Luftblase noch allzuviele andere Faktoren bestimmend sind. P. Plantamour hat [27] ausgedehnte Versuchsreihen über die diskontinuirlichen Bewegungen des Bodens geliefert, die zeitweise allerdings einen periodischen Charakter annahmen, deren Ursache aber nur zum Theile zu ergründen gelang. Lange andauernde Kälteperioden sind dabei jedenfalls mit im Spiele.

in dieser Verfassung ausübt, wird verglichen mit der Höhe einer Quecksilbersäule, welche je nach Maassgabe der vom Erdkörper auf sie ausgeübten Anziehung steigt oder fällt. Hiezu dient eine Art von Heberbarometer, dessen kürzerer zugeschmolzener Schenkel die fragliche Gasmasse enthält. Ob aber die auf diese Weise zu erreichende Genauigkeit wirklich mit derjenigen einer Pendelmessung konkurriren könne, möchten wir bezweifeln. Erheblich verfeinert ist der auf dem gleichen Grundsatz beruhende Messungsapparat Issel's [29]; L L′ (Fig. 21) ist eine U-förmig gebogene, in L geschlossene Röhre, an welche in L′ eine Capillarröhre CC angeschmolzen ist, die sich auf der anderen Seite in die Röhre V öffnet. Die enge Röhre enthält in sich einen Index J, der zwischen den Punkten R hin- und herwandert, über dieselben jedoch deshalb nicht hinaus gelangen kann, weil in diesen Punkten eine Krümmung nach aufwärts eintritt. L ist mit trockener Luft gefüllt, welche verhindert, dass das in die Röhre L eingegossene Quecksilber höher als bis zum Theilstrich N ansteigt; gleichfalls mit trockener Luft gefüllt ist die Capillarröhre. Bezeichnen wir das obere Ende der Röhre L mit N′, so haben wir den auf die in L eingeschlossene Luftmasse wirkenden Druck drei Faktoren proportional zu setzen: einer Flüssigkeitssäule = N N′, deren wechselnder Dichte und der Schwere. Gelangt man mit dem Instrumente an einen Ort stärkerer Schwerewirkung, so wird unter sonst gleichen Verhältnissen die Säule N N′ kürzer werden, die Luft in C C′ gewinnt die Möglichkeit sich auszudehnen, und der Index tritt eine Wanderung nach links an, im entgegengesetzten Falle nach rechts. Selbstverständlich muss auch hier der Apparat auf durchaus gleicher Temperatur erhalten werden und beim Transport in Mitte schlecht leitender Substanzen sich befinden. Zu gleicher Zeit wird es sich empfehlen, eine Kompensationsvorrichtung mit zu beobachten, in welcher die mit Quecksilber und die mit Luft gefüllte Röhre ihre Rollen vertauscht haben.

Fig. 21.



f) **Beobachtungen an Uhren.** Eine merkwürdige Beobachtung Bohnenberger's, welche entschieden hierher gehört, scheint noch keine Berücksichtigung gefunden zu haben. Dieser äusserst exakte und zuverlässige Forscher berichtet [30], dass seinen Wahrnehmungen zufolge der Gang einer Pendeluhr Störungen erleide, wenn das Uhrgewicht der Linse gerade gegenüber zu stehen komme — Störungen, welche man nur aus der gegenseitigen Anziehung von Linse und Gewicht erklären könne. Auch der berühmte englische Uhrmacher Emery habe derartige Unregelmässigkeiten bemerkt. Da nach Bohnenberger's Messungen die Störungen im Gange der Uhr numerisch ausdrückbar, die Massen von Gewicht und Linse aber bekannt sind, so würde es möglich sein, aus diesen gegebenen Grössen einen Rück-

schluss auf das einzige noch unbekannte Element, nämlich auf die Masse des Erdkörpers, zu machen (s. u.).

g) **Der Darwin'sche Messapparat.** Im Jahre 1881 zeigte G. H. Darwin der zu York versammelten „British Association" ein Instrument dieser Art vor, von welchem dann nachgehends auch eine Beschreibung in deutscher Sprache gegeben wurde [31]. Der gewöhnliche Spiegel eines Galvanometers ist durch zwei dünne, gleichlange Kokonfäden einmal mit dem unteren Ende der Pendellinse, einem schweren Kupfergewicht, das andere Mal mit einer Stütze verbunden, welche auf dem Fundament des das Pendel tragenden Gerüstes angebracht ist. Bewegt sich nun das Pendel mit Bezug auf sein Fundament, so stellt die Rotation des Spiegels um eine vertikale Axe diejenige Komponente der Pendelbewegung vor, welche in einer Ebene erfolgt senkrecht zu der durch die ursprüngliche Lage der Kokonfäden bestimmten. Die Beobachtung selbst vollzieht sich in ganz ähnlicher Weise, wie beim Galvanometer, doch müssen die zwei Seidenfäden, wenn eine sehr grosse Genauigkeit beabsichtigt ist, einander möglichst nahe gebracht sein; Schraubenvorrichtungen reguliren die Empfindlichkeit. Um die Oscillationen etwas zu dämpfen, liess Darwin das Pendel zu Cambridge in einer Mischung von Wasser und Alkohol schwingen, wobei noch $^1/_{800}$ Winkeldeviation zu konstatiren war. Was nun die Beobachtungen anlangt, so liess das Pendel eine tägliche Periode von Schwingungen im Mittagskreis wahrnehmen; ferner bewegte sich die mittlere tägliche Lage des ersteren innerhalb mehrerer Wochen nach einer bestimmten Richtung hin, wiewohl die Schwingungen nicht selten durch unerklärliche Umkehrungen unterbrochen wurden. In eigentlicher Ruhe war die Linse zu keiner Zeit, doch gab es Perioden relativer Ruhe und wieder relativer Bewegungsstärke. Es sind hier noch manche Geheimnisse aufzuklären, und zwar birgt deren der Apparat selbst genug in sich; ist doch seine Reizbarkeit eine so grosse, dass selbst dann ein namhafter Ausschlag eintritt, wenn sich der Experimentirende um einen Schritt nähert oder entfernt.

§. 3. **Attraktionsprobleme.** Nachdem wir uns nunmehr überzeugt haben, wie Anziehungswirkungen durch das Experiment nachgewiesen und hinsichtlich ihrer Grösse geschätzt werden können, haben wir weiter danach zu fragen, wie solche Wirkungen der Rechnung zu unterwerfen seien. Die für uns allein wichtige Aufgabe ist: die Wirkung eines beliebig gestalteten Körpers auf einen gegebenen Punkt zu bestimmen. Der fragliche Punkt habe in Bezug auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem die Koordinaten a, b, c; irgend ein Punkt im Inneren des attrahirenden Körpers sei durch x, y, z bestimmt; dann ist deren Distanz $d = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}$. Die Masse des Elementarparallelepipeds, dessen Schwerpunkt (x, y, z) sein soll, wird durch $\rho dxdydz$ dargestellt, unter ρ die Dichte verstanden. Nimmt man in (a, b, c) ein Raumelement von der Masse 1 gelegen an, so lässt sich nach dem Newton'schen Gesetze die wechselseitige Anziehung beider Massentheilchen anschreiben und es gilt nur noch, diesen Ausdruck über den ganzen in Betracht kommenden Körper auszudehnen. Demgemäss wird diese wechselseitige Anziehung durch

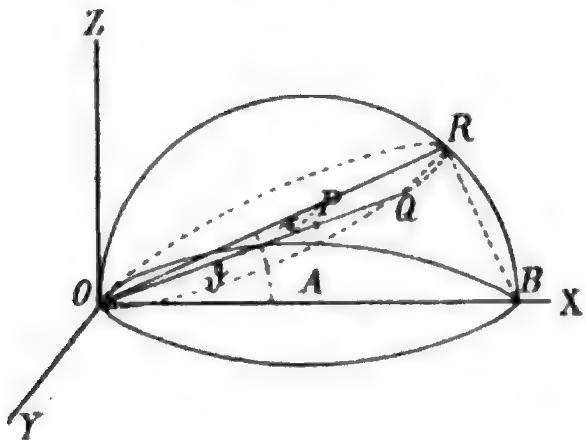
das dreifache Integral

$$\rho \iiint \frac{dx\,dy\,dz}{(x-a)^2+(y-b)^2+(z-c)^2}$$

dargestellt sein*).

Ein einfaches Beispiel, welches wir Thomson-Tait [34] entnehmen, mag den Berechnungsvorgang erläutern. In Fig. 22 ist OB Durchmesser einer Halbkugel vom Halbmesser $OA = AB = k$ und von der allenthalben gleich vertheilten Dichte ρ; die Anziehung dieser Halbkugel auf den Punkt O ist zu finden. Man wähle O zum Ursprung eines Orthogonalsystemes, die X-Axe falle mit OB zusammen, die Z-Axe stehe senkrecht auf dem Grundkreise. P sei ein willkürlicher Punkt im Inneren der Halbkugel; man lege durch ihn eine auf der XZ-Ebene senkrecht stehende Ebene, welche aus der Kugel den Kreis OR ausschneidet, und verbinde P mit O durch eine Strecke, welche in ihrer Verlängerung über P hinaus die Peripherie des zuletzt genannten Kreises in Q trifft.

Fig. 22.



Nunmehr kann man mit Vortheil an Stelle der rechtwinkligen polare Koordinaten einführen. P ist fixirt: erstens durch seine Entfernung $PO = r$ vom Ursprung oder Pol O, zweitens durch den $\sphericalangle QOR = \varphi$ und drittens durch den $\sphericalangle ROB = \vartheta$. Der Fahrstrahl r variirt zwischen 0 und OQ, zieht man noch die Hülfslinien RQ und RB, so folgt aus den rechtwinkligen Dreiecken ORQ und ORB

$$OQ = OR \cos\varphi = OB \cos\vartheta \cos\varphi.$$

Der Winkel φ hat rechts und links zur Seite der OR einen Spielraum von 0° bis 90°, während ϑ nur einmal von 0° bis 90° wachsen kann. Das Körperelement $dx\,dy\,dz$ geht durch die polare Transformation in unserem Falle über in $r^2 \cos\varphi\, d\varphi\, d\vartheta\, dr$, die Entfernung $OP = d$ (s. o.) ist in unserem Falle einfach $= r$ zu setzen. Unser dreifaches Integral von oben nimmt somit, wenn seine Funktion, zur Projicirung auf OZ, mit $\cos\varphi \sin\vartheta$ multiplicirt wird, diese Gestalt an:

$$\rho \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\vartheta\, d\vartheta \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2\varphi\, d\varphi \int_0^{2k\cos\vartheta\cos\varphi} \frac{r^2}{r^2}\, dr.$$

Ohne Mühe findet sich hieraus die Anziehung $= \frac{4}{3}\rho k$ längs OZ.

*) Für die kosmische sowohl wie für die tellurische Physik hervorragend wichtig hat sich im Laufe der Zeiten die Aufgabe erwiesen, die Anziehung eines Ellipsoides zu berechnen; Paraira [32] und Grube [33] haben hierüber in Monographieen gehandelt. Wir entnehmen denselben, dass Newton das Problem nur für einen speziellen Fall synthetisch löste, Cotes die von jenem nur angedeutete Integration wirklich ausführte, dass Stirling und Clairaut ebenfalls nur Ellipsoide von annähernd kugelformiger Gestalt behandelten, und dass erst Mac Laurin mit dem Rotationsellipsoid in's Reine kam. Für das dreiaxige erbrachte zuerst D'Alembert eine Lösung, die nicht viel weniger leistet, als man

Denken wir uns in O die Kugel eines freihängenden Bleilothes befindlich, so erleidet diese eine Ablenkung im berechneten Betrage. Gesetzt, man wolle die Polhöhe des Punktes O messen, während nördlich von ihm ein halbkugelförmiger homogener Berg sich erhebt. Wählt man zur Festlegung der Zenitalrichtung ein rein geodätisches Verfahren, so ist keine Fehlerquelle vorhanden, und man erhält die wahre Polhöhe φ; wenn man sich jedoch eines Winkelmessinstrumentes mit Bleiloth bedient, so erhält man eine falsche, durch die Lothabweichung entstellte Polhöhe φ', und zwar ist, wenn G den Gesammtbetrag der Erdanziehung, R den Erdradius vorstellt, für die Südseite

$$\varphi - \varphi' = \frac{2}{3}\pi\rho k : (G - \frac{4}{3}\rho k) = \frac{2}{3}\pi\rho k : \left(\frac{4}{3}\pi\sigma R - \frac{4}{3}\rho k\right).$$

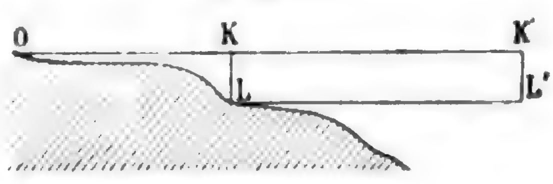
σ ist die Dichte des Erdballes, $\frac{2}{3}\pi\rho k$ die Berganziehung längs OX, $\frac{4}{3}\pi\sigma R$ die Anziehung der Erde selbst $(= \frac{4}{3}\pi\sigma R^3 : R^2)$. Da der Subtrahend in der Klammer gegen den Minuenden verschwindet, so kann man

$$\varphi - \varphi' = \frac{2}{3}\pi\rho k : \frac{4}{3}\pi\sigma R = \frac{1}{2}\rho k : \sigma R$$

setzen. Zwei nördlich und südlich unmittelbar am Fusse des Berges gelegene Stationen, deren Polhöhenunterschied von Rechtswegen $= \frac{2k}{R}$ sein würde, haben somit, wegen der Attraktion des Berges, den scheinbaren Breitenunterschied $\frac{k}{R}\left(2 + \frac{\rho}{\sigma}\right)$. Umgekehrt stellt sich das Verhältniss, wenn man zwei am Rande einer breiten, westöstlich verlaufenden Schlucht sich gegenüber liegende Orte in's Auge fasst.

Derjenige Körper, welcher die Anziehung ausübt, braucht natürlich kein fester zu sein, vielmehr kann er auch einem anderen Aggregatzustande angehören. Nach **Thomson-Tait** war es bereits **Robison** aufgefallen, dass die gewaltigen Fluthen in der Fundy-Bay eine Lothablenkung bewirken [35], und wenn diess der Fall, so muss natürlich auch schon eine geringere Wasseranschwellung zu der gleichen Wahrnehmung führen. Die genannten englischen Physiker lehren die Wirkung der Fluth folgendermassen zu berechnen. L (Fig. 23a) stellt jenen Punkt des Ufers dar, bis zu welchem das Meer gewöhnlich, O jenen, bis zu welchem es in einem Ausnahmsfalle ansteigt. Nimmt man an, dass das Gestade zu beiden Seiten der durch O und L gelegten Vertikalebene symmetrisch verlaufe, so wird offenbar das Plus der Lothabweichung einzig und allein bedingt durch das mit Wasser ausgefüllte Trapez O K′ L′ L, an dessen Stelle mit hinreichender Annäherung auch das Rechteck K K′ L′ L genommen werden kann. In Fig. 23 b stellt A A′ B′ B ein

Fig. 23 a.

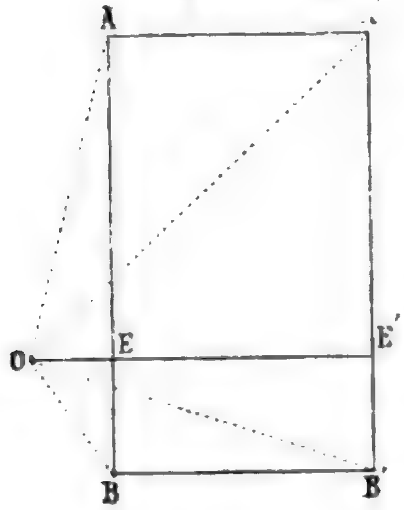


---

auch heute noch zu leisten im Stande ist; **Lagrange** beschränkte sich in der Hauptsache darauf, die bis dahin gewonnenen Sätze mit strengen analytischen Beweisen zu versehen.

Rechteck vor, dessen Anziehung auf einen ausserhalb gelegenen Punkt zu ermitteln ist; fällt man von O auf A′B′ die Normale O E′, welche der A B in E begegnet, und zieht die Hülfslinien O A, O B, O A′, O B′, so ist, wie a. a. O. zu ersehen, die gesuchte Anziehung gleich

Fig. 23 b.



$$\rho \log \left[\frac{(OA + AE) \cdot (OB + BE) \cdot \overline{OE'}^2}{(OA' + A'E') \cdot (OB' + B'E') \cdot \overline{OE}^2}\right],$$

unter ρ die Dichte des Meerwassers verstanden. Einführung geeigneter Zahlenwerthe lehrt, dass unter gewissen Umständen das Bleiloth aus der Lage, welche es zur Zeit der Ebbe inne hatte, durch eine horizontal gerichtete Kraft entfernt wird $> \frac{1}{4000000}$ der vertikalen Kraft; entsprechend findet man den Winkelwerth der Ablenkung, wenn man jenen Bruch mit $57^0\,18' = \left(\frac{360}{2\pi}\right)^0$ multiplicirt. Eingehendere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Gravitationsrichtung vom Wasserstande enthält Keller's Abhandlung: Sulle piccole variazioni della direzione della gravità prodotte dalle mare e nella località situate presso la spiagia del mare, Roma 1873.

Die Frage, nach welcher Richtung hin die — ihrer numerischen Grösse nach bekannte — Anziehung wirke, hat uns bisher noch nicht beschäftigt, doch ist sie ebenfalls von hervorragender Wichtigkeit. An sich ist klar, dass, wenn einer Fläche oder einem Körper eine Symmetrieaxe zukommt, um welche herum also die Masse durchaus gleich vertheilt ist, und wenn ferner der beeinflusste Punkt in der Verlängerung dieser Linie gelegen ist, alsdann die Resultante aus all den unendlich vielen Anziehungskräften der einzelnen Massentheile zusammenfällt mit der Symmetrielinie. Für die Kugel ist jeder Durchmesser eine solche Axe, und es braucht deshalb wohl kaum der an sich so eleganten Beweise Newton's [36] und v. Ettingshausen's [37] für die Thatsache, dass man die Masse eines sphärischen Körpers in dessen Mittelpunkt koncentrirt denken kann. Sind die sich anziehenden Körper sehr weit von einander entfernt, so dass ihre Abweichungen von der Kugelgestalt numerisch gegen die Distanz nicht in Betracht kommen, so dürfen wir ebenfalls die Massen in den Schwerpunkten vereinigen und nach dem für Kugeln geltenden Gesetze behandeln; diese an sich einleuchtende Behauptung lässt sich, wie Schlömilch gezeigt hat, leicht analytisch bekräftigen [38]*). Wie aber verhält es sich, wenn jene Vernachlässigung nicht mehr gestattet werden kann?

*) In einer früheren Mittheilung [39] des Verf. ward darauf hingewiesen, wie man elementar an einem Spezialfalle den für Anfänger wichtigen Beweis führen könne, dass die Anziehungsrichtung nicht, resp. nur ausnahmsweise, durch den Schwerpunkt des anziehenden Gebildes hindurchgehe. Die Figur ABCDE (Fig. 24) besteht aus einem Halbkreise ABC und einem Rechtecke ACDE, so zwar dass der Radius AM = CM = BM (⊥ AC) den Rechtecksseiten AE und CD gleich ist. Man bestimme die Anziehung dieser (homogen vorausgesetzten) Figur auf den Punkt E. Vervollständigt man den Halbkreis zum Vollkreis,

Im Jahre 1777 machte Lagrange [40] die folgenreiche Bemerkung, dass, wenn man die Resultante der Attraktion parallel zu den drei Axen des Orthogonalsystemes in Seitenkräfte zerlege, jede derselben mittelst der Relationen $X = \frac{\partial \Omega}{\partial x}$, $Y = \frac{\partial \Omega}{\partial y}$, $Z = \frac{\partial \Omega}{\partial z}$ auf eine einzige Funktion Ω zurückgeführt werden könne. Diese Funktion ist aber nichts anderes, als die Summe sämmtlicher in Betracht kommenden Massentheile, jeder multiplicirt mit einer gewissen Funktion seiner Entfernung von dem angezogenen Punkte, und zwar geht letztere Funktion für den Fall des uns einzig hier beschäftigenden Newton'schen Gravitationsgesetzes in die reciproke Entfernung über. Will man also zugleich mit der Anziehungsgrösse A auch die Richtung der ihr entsprechenden Resultante im Raume haben, so bildet man zuerst

$$\Omega = \int \frac{dm}{r}, \quad X = \frac{\partial \Omega}{\partial x}, \quad Y = \frac{\partial \Omega}{\partial y}, \quad Z = \frac{\partial \Omega}{\partial z}$$

und hat dann, die gewöhnliche Winkelbezeichnung der analytischen Raumgeometrie beibehalten,

$$A = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad \cos(A, X) = \frac{X}{A}, \quad \cos(A, Y) = \frac{Y}{A},$$

$$\cos(A, Z) = \frac{Z}{A}, \quad \cos^2(A, X) + \cos^2(A, Y) + \cos^2(A, Z) = 1.$$

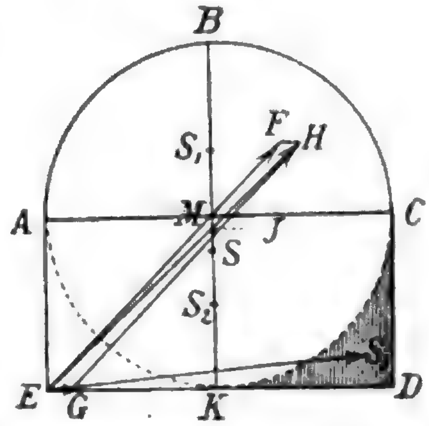
Die Funktion Ω hat Green [41] Potentialfunktion, Gauss [42] schlechtweg Potential genannt, und obwohl mehrere Schriftsteller, besonders Clausius [43], zwischen diesen beiden Bezeichnungen einen gewissen Unterschied machen zu müssen glaubten, so hat sich doch deren Gebrauch als Synonyma mehr und mehr eingebürgert. Bacharach hat [44] eine sehr verdienstliche Geschichte der Potentialtheorie geschrieben, auf welche wir mit Nachdruck verweisen, da eben diese Theorie gerade für die wissenschaftliche Erdkunde nach verschiedenen Seiten hin eine fundamentale genannt werden muss.

Dess zum Belege verweben wir in unsere Darstellung die wichtigsten Ergebnisse einer inhaltsreichen Abhandlung [45], in welcher Zöppritz eben die Anwendung des Potentiales bei der Diskussion erdphysikalischer Fragen behandelt. Will man, so heisst es dort, das

---

welcher DE in K berührt, so wirken auf E anziehend drei Flächenräume: der Kreis um M, das gemischtlinige Dreieck AKE und das gemischtlinige Dreieck CKD. Erstere beide zusammen geben die Figur EABCK, auf deren Symmetrieaxe E selbst liegt; EF sei die von jener ausgeübte Attraktion. Die Anziehungsrichtung von CKD würde etwa ES_3 sein, wir wollen sie aber zum Ueberflusse mit ED zusammenfallen lassen und ihrer Grösse nach = EG setzen. Alsdann ist EH die Gesammtresultante, welche KB in J schneidet. Für $MS_1 = \frac{4}{3\pi} AM$, $MS_2 = \frac{1}{2} AM$ und $S_1 S : S_2 S = 2\overline{AM}^2 : \frac{1}{2}\overline{AM}^2 \pi$ ist S der Schwerpunkt der ganzen Figur, und eine kleine Rechnung ergiebt MS > MJ. Um so mehr würde diess gelten, wenn EG seiner Grösse nach auf ES_3 abgetragen worden wäre.

Fig. 24.



Potential der Erde in Bezug auf andere Himmelskörper betrachten, so reicht es hin, dieselben aus homogenen und annähernd koncentrischen Schichten zusammengesetzt anzunehmen und den Unterschied der Trägheitsmomente um verschiedene Axen hinlänglich klein vorauszusetzen. Mögen die Massen auch ungleich und ungleich vertheilt sein, die grossen Entfernungen r in der Summe $\left(\frac{m_1}{r_1} + \frac{m_2}{r_2} + \frac{m_3}{r_3} + \ldots\right)$ wirken fehlerausgleichend. Für einen Punkt der Erdoberfläche sieht natürlich das Gravitationspotential ganz anders aus; namentlich ist die Meeresfläche keine Oberfläche von einheitlichem geometrischem Bildungsgesetze. Denkt man sich dieselbe zunächst noch als sphäroidisch und bezeichnet für einen bestimmten Punkt derselben ihren normalen Abstand von einer — im nächsten Kapitel einlässlich zu besprechenden — Hülfsfläche mit h, ferner mit $(-\Omega)$ das Potential eines über das Meeresniveau emporragenden Festlandes (mittlere Dichte 2,5), mit γ die Schwere und erwägt, dass jede Massenverminderung eine positive Potentialdifferenz $\Delta\Omega$, jede entsprechende Massenvermehrung an anderer Stelle die negative Potentialdifferenz $(-\Delta\Omega')$ bedingt, so kann man

$$h + \Delta h = \frac{1}{\gamma}(\Omega + \Delta\Omega - \Delta\Omega'),\ \Delta h = \frac{1}{\gamma}(\Delta\Omega - \Delta\Omega')$$

setzen. Nimmt man an, dass ein Kontinent um eine feste Axe eine sogenannte Schwengelbewegung ausführt, so muss man, um die hieraus für einen gewissen Küstenpunkt resultirende Niveauveränderung zu erhalten, die Potentiale des emporgehobenen und des untergetauchten Theiles mit Bezug auf obigen Punkt bestimmen. Handelt es sich um Sedimentablagerungen, so kann man eventuell das eine Potential vernachlässigen; namentlich gilt diess für die Deltabildungen, weil hier das abgesetzte Material fast ausschliesslich vom Oberlaufe der Flüsse, also von Orten herstammt, deren Entfernung vom Delta gross ist. Dieses grosse r lässt wiederum die Brüche $\frac{m}{r}$ unter die Grenze der zu berücksichtigenden Grössen herabsinken [46]. Von weiteren Bemerkungen dieser Arbeit werden wir späterhin, namentlich bei der Strandlinienfrage, Notiz zu nehmen haben.

Zum Schlusse dieses Paragraphen erwähnen wir noch einer Definition, auf welche wir uns später zu berufen haben werden. Nur für eine homogene Kugel laufen sämmtliche Anziehungsrichtungen in ein und demselben Punkte zusammen, für andere Raumgebilde ist diess nicht möglich. Gerade die kosmische Physik hat sich aber vielfach mit Körpern zu befassen, welchen die erwähnte Eigenschaft zwar nicht in aller Strenge, aber doch annähernd zukommt, und solche Körper bezeichnet man nach englischem Sprachgebrauche als centrobarisch. Thomson und Tait verstehen [47] unter einem harmonischen Sphäroid ein dreiaxiges Ellipsoid, dessen Fahrstrahlen für beliebige Oberflächenpunkte von den Radien einer gewissen koncentrischen Kugel nur um ein Unendlichkleines sich unterscheiden. Ein harmonisches Sphäroid von beliebigem Grade $n > 2$ ist eine algebraische Fläche $n$ter Ordnung, die näherungsweise sphärisch gekrümmt, dabei aber allerdings noch anderen Bedingungen unterworfen ist. Alle von solchen Flächen begrenzten Körper sind centrobarisch.

§. 4. **Lothanziehung und Lothabstossung.** Wir haben im vorigen Paragraphen gesehen, dass Unregelmässigkeiten der Erdoberfläche auch bei einem in der Hauptsache centrobarischen Körper, wie es unsere Erde ist, das Loth von der eigentlichen Richtung abzulenken vermögen, und zwar, wenn es Erhöhungen sind, im Sinne einer Anziehung. Das Maass für eine solche Ablenkung ist im Bogenmaasse auszudrücken und wird (s. o.) dadurch gefunden, dass man erstens die Polhöhe des zu untersuchenden Ortes direkt bestimmt und zweitens eine geodätische Triangulirung einleitet, welche den Werth dieses Winkels unabhängig von allen Beobachtungen am Orte selbst liefert. Zieht man von der beobachteten Polhöhe die berechnete ab, so hat man die Lothablenkung in Folge von Lokalanziehung gefunden.

Angaben über die Geschichte der Lokalattraktion findet man in Humboldt's „Kosmos“ [48] und in grösserer Fülle in den monographischen Werken, welche v. Zach [49] und Philipp Keller [50] diesem Thema gewidmet haben. Hier kann natürlich nur einiger Hauptmomente gedacht werden. Bouguer prüfte zuerst die von dem mächtigen Chimborazo auf das Bleiloth seines Quadranten ausgeübte Attraktion und fand für den betreffenden Winkel [51] den freilich viel zu kleinen Werth von etwas über 7″. Beccaria und Liesganig (s. o. Kap. I, §. 6) konstatirten die mächtigen Einwirkungen des Alpenmassives; der letztere sagt u. a. [52]: „Quidni? Si unius montis Chimboraço actio octo circiter secundorum deviationem perpendiculo intulit, quidni, inquam, suspicari liceat, a tanta ingentium pinguiumque superioris Styriae montium massa, sectoris quoque mei perpendiculum ad 12 secundorum angulum dimoveri?“ Genauere Beobachtungen über Berganziehung stellten Maskelyne und Hutton [53] an einer schottischen Gebirgsgruppe an. In unserem Jahrhundert waren es besonders Carlini und Plana [54], die sich mit der Ausgleichung der auf die Massenwirkung der Alpen zurückzuführenden Deviationsfehler zu schaffen machten, und Denzler folgte ihnen darin nach [55]; die lombardische Bergkette war die Ursache davon, dass ein Meridiangrad, statt, wie zu erwarten gewesen wäre, 57013 Toisen, in Wirklichkeit 57687 Toisen mass. v. Baeyer verfolgte den Einfluss der Berge systematisch, weil dadurch die Vermessungen in Deutschland vielfach beeinträchtigt wurden, und namentlich war es das sozusagen klassische Lothablenkungsgebiet unseres Vaterlandes, der Harz, welches seine Aufmerksamkeit auf sich ziehen musste. Eine von ihm mitgetheilte Tabelle [56] stellt die an einigen Hauptstationen der mitteldeutschen Gebirge erhaltenen Zahlenwerthe zusammen, wie folgt:

Ort	Höhe über d. Ostsee	Berechnete Polhöhe	Gemessene Polhöhe	Differenz
Inselsberg	916,14 m	50° 51′ 8,40″	— — 11,75″	+ 3,35″
Seeberg	357,83	50 56 5,84	— — 5,84	0,00
Mühlhausen i. T.	227,45	51 12 10,10	— — 6,18	— 4,00
Tettenborn	322,47	51 34 22,13	— — 17,29	— 4,84
Hohe-Geis	639,65	51 39 58,12	— — 57,02	— 1,10
Brocken	1141,49	51 48 1,15	— — 10,59	+ 9,44
Ilsenburg	259,87	51 52 24,60	— — 35,71	+ 11,11
Fallstein	204,65	52 1 5,65	— — 9,34	+ 3,69
Asse	211,14	52 8 20,12	— — 20,38	+ 0,26

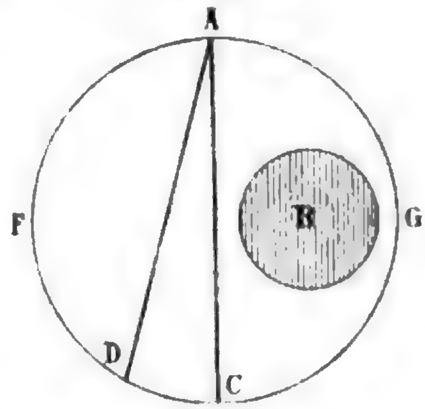
Es ergaben sich drei Nullpunkte der Ablenkung: im Breitenkreise der Sternwarte Seeberg (bei Gotha), zwischen Hohe-Geis und Brocken und auf der Asse, einem niedrigen Rücken in der Nähe von Wolfenbüttel. Offenbar repräsentirt demnach die Gebirgsmasse des Harzes, welche je eine Zone mit nördlicher und südlicher Lothabweichung trennt, einen Anziehungskern, und zwar ist es den ausgeführten Längenbestimmungen gemäss sehr wahrscheinlich, dass das eigentliche Centrum der Anziehung im Meridian des Brockens gelegen ist. Die Zahlen sind übrigens nur oberflächlich richtig und harren der Verschärfung, an welcher eben gegenwärtig rüstig gearbeitet wird. Was die Jtaliener und Schweizer für die Alpen, was v. Baeyer für das deutsche Hochland, das hat Stebnitzki nach Leipoldt's Mittheilungen [57] für den Kaukasus geleistet. Wladikawkas an der Nordseite weist eine Ablenkung von 35,8″, Duschet an der Südseite eine solche von 18,3″ auf.

Es ist einleuchtend, dass die Grösse der Ablenkung ausser von den geometrischen Verhältnissen des attrahirenden Massives wesentlich auch von dem spezifischen Gewicht der in jenem vereinigten Gesteinsarten abhängen muss. Diesem letzteren Momente muss deshalb aber auch eine erhöhte Aufmerksamkeit zugewendet werden, doch ist diess gleichwohl längere Zeit nicht in dem erwünschten Maasse geschehen, und erst jüngst hat Lossen einen erfreulichen Anfang damit gemacht, indem er, einem Gedanken v. Richthofen's Folge gebend, im Harz den Zusammenhang zwischen der Vertheilung der Lothablenkungswerthe und der Vertheilung der Gebirgsglieder von verschiedenem Eigengewichte auszumitteln sich bestrebte [58]. Die Anordnung der Diabase und ihrer Tuffe, denen eine besonders grosse Dichte (= 3 im Durchschnitt) zukommt, musste dabei besonders in's Gewicht fallen. Der Harz, das „unzerstückte Massengebirge“, wie ihn Friedrich Hoffmann nannte, wirkt in jeder Beziehung als ein Gebirgsknoten. Die positiven Deviationen wiegen vor den negativen vor, zumal im Norden und Nordosten, was mit der Stellung der Granitstöcke in jenen Gegenden ganz gut harmonirt [59]. Zweimal kulminiren die Werthe (bei Harzburg und Ballenstedt); diesem Verhältnisse entsprechen anscheinend die beiden dynamischen Brennpunkte des inneren Gebirgsbaues, die sich neutralisirenden Hauptgranitmassen im Brocken und im Rammelsberg. Auch ist charakteristisch, dass die Maximalwerthe diesen Centren nicht direkt gegenüber, sondern vielmehr am Rande des Berglandes liegen. Nicht minder korrespondirt nach Art und Maass des Ansteigens die Differenz zwischen den beiden Kulminationswerthen mit der verschiedenen Protrusion und Volumentfaltung der beiden Granitmassive, wie denn der blosse Höhenunterschied des Nordost- und Nordwestharzes zur Erklärung nicht ausreichend befunden werden würde, selbst wenn man ausser der Höhe selbst noch die Volumina der über eine gewisse Durchschnittsebene aufragenden Gebirgstheile in Betracht ziehen wollte.

In §. 3 ward schon bemerkt, dass ebenso, wie eine Erhöhung anziehend auf das Senkel wirkt, eine Vertiefung anscheinend eine Abstossung hervorrufe. Bereits Kant scheint sich über dieses Faktum ganz klar gewesen zu sein. Fig. 25 zeigt uns eine Kant'sche Originalzeichnung, die dem kleinen und nur wenige Worte enthaltenden Fragmente „Von der veränderlichen Richtung der Schwere“ beigegeben ist [60]. Der Sinn ist jedoch unschwer zu errathen: Wäre AFEG

eine homogene Vollkugel so fiele deren Anziehungsresultante in Bezug auf Punkt A mit dem Diameter AC zusammen, wenn aber eine hohle excentrische Kugel B vorhanden ist, so wird die Anziehungsrichtung von dieser abgelenkt, etwa nach AD. Die erste sichere Beobachtung dieser Art machte Schweizer, indem er in der Umgebung von Moskau ausgedehnte unterirdische Hohlräume konstatirte [61]. Auch Stebnitzki fand Aehnliches für Transkaukasien; so sollte Schemacha eine positive Ablenkung von 28″ haben und weist in Wahrheit eine negative Ablenkung von 15″ auf — ein der grossen Nähe mächtiger Bergriesen halber auffälliges Vorkommniss, welches W. Struve mit dem höhlenreichen, vulkanischen und den Erdbeben nur allzu günstigen Charakter dieses Theiles von Dagestan in Zusammenhang bringen möchte [62].

Fig. 25.



§. 5. **Die Erdgestalt unter dem vereinigten Einflusse von Schwere und Centrifugalkraft.** Wiewohl von den Bewegungen des Erdkörpers erst im zweitnächsten Kapitel besonders gesprochen werden wird, so dürfen wir doch natürlich auch hier schon die Thatsache voraussetzen, dass der Erdball sich in 24 Stunden einmal mit gleichförmiger Geschwindigkeit um seine Axe dreht. Diese Bewegung musste, wenn die Erde im Sinne der Nebulartheorie ursprünglich eine weiche, breiartige Masse war, eine allmählige Abplattung derselben hervorrufen, wie jede Töpferkugel auf der Drehscheibe und der bekannte Vorlesungsversuch mit der aus elastischen Reifen zusammengesetzten Kugel zur Genüge darthun. Am Pole ist nämlich die Centrifugalkraft gleich Null, am Aequator erreicht sie ihren Maximalwerth, und es geht sonach die Erde, wie es Newton von Anfang an behauptete und wie es auch die Gradmessungen auswiesen, in ein abgeplattetes Sphäroid über. Den Grad der Abplattung kann man mit einiger Annäherung durch theoretische Betrachtungen feststellen; wir führen dieselben hier durch, indem wir uns dabei wesentlich auf das Newton'sche Originalwerk [63] und die dessen Darstellung vortrefflich in die moderne Ausdrucksweise übersetzende Physik von Fliedner [64] beziehen.

Die Centrifugalbeschleunigung f_0 eines Aequatorpunktes im Meeresniveau ist, wenn $r = 6\,377\,365$ m den Aequatorhalbmesser, $t = 23^h\,56'\,4'' = 86\,164''$ die genaue Umdrehungsdauer darstellt, einem bekannten dynamischen Satze nach diese:

$$f_0 = \frac{4 r \pi^2}{t^2} = \frac{4 \,.\, 6\,377\,365 \,.\, 3{,}14^2}{86\,164^2} = 0{,}0339 \text{ m.}$$

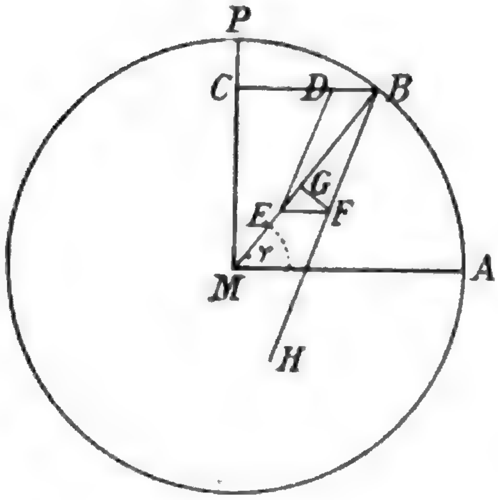
Diese Centrifugalbeschleunigung ist der Fallbeschleunigung direkt entgegen gerichtet, sie lässt einen jeden Körper leichter erscheinen, als er auf einer ruhenden Erde sein würde. Da nun die Beschleunigung der Schwere am Aequator $g_0 = 9{,}7806$ m gefunden wurde*), so ist,

*) Eine von Pendelmessungen unabhängige Bestimmungsweise der Fallkonstante hat, wie Poggendorf anführt [65], bereits Galilei angegeben. Er liess polirte Kugeln in Rinnen herablaufen, die gegen den Horizont (um den $\sphericalangle\ \alpha$)

unter γ die Fallbeschleunigung auf einer Erde ohne Axendrehung verstanden, $\gamma = g_0 + f_0 = 9{,}8145$ und $\frac{f_0}{g_0}$ sehr nahe $= \frac{1}{289}$.

Es liegt uns nun ob, die Veränderung der Schwere auf der kugelförmig vorausgesetzten Erde zu verfolgen. Der Weg, den A (Fig. 26) täglich beschreibt, ist $= 2\,AM\,.\,\pi = 2\,r\pi$, der Weg, den B beschreibt, ist $= 2\,BC\,.\,\pi = 2\,r \cos\varphi\,.\,\pi$ (unter φ die geographische Breite verstanden), der von P beschriebene Weg endlich ist $= o$. Die theoretische Fallbeschleunigung in B sei durch BE ausgedrückt, während BD die Centrifugalbeschleunigung und BF die wirkliche Fallbeschleunigung repräsentirt; die thatsächliche Fallrichtung BH, auf welcher BD abgetragen werden musste, würde nur dann mit BM zusammenfallen, wenn die Erde stille stände. Die 4 Punkte B, D, E, F müssen die Ecken eines Parallelogrammes bilden,

Fig. 26.



BF möge durch g_φ bezeichnet sein, so dass also, wenn B in den Pol P zu liegen kommt, g_{90} zu schreiben wäre. Fällt man von F auf EB das Perpendikel FG, so ist $EG = BD\,.\,\cos\varphi$, oder, da $BD = f_0 \cos\varphi$ ist, $EG = f_0 \cos^2\varphi$. Der Winkel EBF ist stets sehr klein (er steigt höchstens auf 6′ an), und so kann hinlänglich exakt $BF = BG = BE - EG$ gesetzt werden, d. h. es ist $g_\varphi = \gamma - f_0 \cos^2\varphi = g_0 + f_0 - f_0 \cos^2\varphi$,

$$g_\varphi = g_0 + f_0(1 - \cos^2\varphi) = g_0 + f_0 \sin^2\varphi.$$

Der letzterhaltenen Gleichung kann man die folgenden Formen ertheilen:

$$g_\varphi = g_0\left(1 + \frac{f_0}{g_0}\sin^2\varphi\right) = g_0\left(1 + \frac{1}{289}\sin^2\varphi\right).$$

Für den Pol P ist $\sin^2\varphi = 1$, also haben wir für die Zunahme der Schwere vom Aequator bis zum Pol den Werth

$$g_{90} - g_0 = \frac{1}{289}\cdot g_0$$

erhalten.

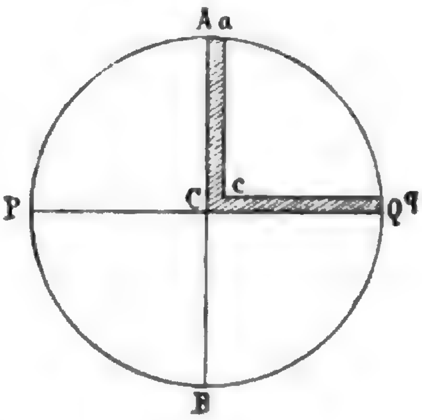
Auf diese Thatsache begründet Newton (a. a. O.) seine Abplattungstheorie durch ein Raisonnement, welches wir seiner hohen und zwar nicht blos historischen Bedeutung halber hier wörtlich wiedergeben (Fig. 27): „Es stelle nun APBQ die Figur der Erde vor, welche nicht mehr sphärisch, sondern durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe PQ entstanden gedacht wird, und es sei ACQqca ein Kanal, welcher vom Pol Qq bis zum Centrum Cc und von diesem bis zum Aequator Aa mit Wasser angefüllt ist. Alsdann muss das Gewicht

---

geneigt und zur Vermeidung der Reibung mit Pergament ausgefüttert waren. Für ein kleines α waren der Fallraum s und die Fallzeit t leicht zu messen, und dann lieferte die Relation $s = \frac{1}{2}\,gt^2 \sin\alpha$ den Werth jener Konstante. Treffliche Dienste leistet bei solchen Versuchen auch die Atwood'sche Fallmaschine.

des Wassers im Zweige ACca sich zu dem Gewicht des im Zweige QCcq vorhandenen Wassers verhalten, wie 289 : 288, und zwar deshalb, weil die aus der Kreisbewegung entspringende Centrifugalkraft einen Theil von 289 trägt und aufhebt, und daher die 288 Theile Wassers im Schenkel ACca die 289 Theile im anderen Schenkel tragen." Denkt man sich also die durchaus flüssig Erdkugel in unendlich viele und unendlich schmale Kanäle dieser Art zerlegt, so gilt für einen jeden Newton's Beweis, und es muss also in jenem Gleichgewichtszustande, welcher der Erstarrung der Erde unmittelbar vorangieng, der Polarhalbmesser b zum Aequatorialhalbmesser a das Verhältniss 288 : 289 besessen haben. Somit ist

Fig. 27.



$$\frac{a}{b} - 1 = \frac{289 - 288}{289} = \frac{1}{289} = \alpha,$$

und wir haben jenen Abplattungswerth wieder bekommen, welchen Listing (s. o. Kap. I, §. 10) seinem typischen Sphäroid zu Grunde legte.

Nicht minder verdient als ein merkwürdiges Zusammentreffen bemerkt zu werden, dass Huygens [66] und Hamberger [67] durch eine eigenthümliche theoretische Kombination zu dem nämlichen Werthe geführt wurden. Sie erblickten die Ursache der Schwere in der Schwungbewegung eines intramolekularen Aethers und schlossen aus Experimenten, die sie mit leichten Körperchen in einem auf der Centrifugalmaschine stehenden Wasserglase gemacht hatten, dass die Geschwindigkeit des Aethers zur Rotationsgeschwindigkeit der Erde sich wie 17 : 1 ($= \sqrt{289} : \sqrt{1}$) verhalte.

§. 6. **Das Pendel als geodätisches Instrument.** Weitaus das beste und sicherste Hülfsmittel, die Variationen der Erdschwere und die mit diesen in engster Beziehung stehenden Unregelmässigkeiten der Erdgestalt zu studiren, ist unstreitig das Pendel. Der Grund hievon ist leicht einzusehen. Macht ein mathematisches Pendel, resp. ein schwerer und an sehr dünnem Faden oder Draht aufgehängter Körper, Schwingungen, deren Elongation durch α bezeichnet wird, während l die Pendellänge vorstellt, so wird die Schwingungsdauer t durch folgende Gleichung gegeben:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{1}{2} \alpha + \ldots\right).$$

Bei Ausschlagswinkeln unter 5° — und mit anderen hat die Geophysik nicht zu rechnen — werden die Potenzen von $\sin \frac{1}{2} \alpha$ so klein, dass man blos das Anfangsglied der Reihe zu berücksichtigen braucht, und es verbleibt die einfache Formel *)

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

*) Einen Weg, durch elementare Konstruktion, ohne jede Zuhülfenahme aller höheren Rechnungsweisen, diese Formel zu beweisen, hat zuerst Kulik [68]

welche den von Bürgi und Galilei unabhängig entdeckten [70] Isochronismus der Pendelschwingungen ausdrückt. Für uns ist ausschliesslich das Sekundenpendel von Bedeutuug, für welches mithin $t = 1$ ist; hieraus ergiebt sich dessen Länge

$$L = \frac{g}{\pi^2}.$$

Damit ist aber bewiesen, dass die Länge des Sekundenpendels der Konstanten der Schwerkraft direkt proportional ist, und dass Messungen dieser Länge ein Maass für die uns bereits bekannte Fundamentalgrösse g liefern.

Weiter fliesst hieraus der Lehrsatz: Obwohl g nicht für alle Punkte der Erdkugel den nämlichen Werth besitzt und somit auch L durch den Index φ als eine mit der geographischen Breite φ variirende Grösse charakterisirt werden muss, so ist doch

$$\frac{L_\varphi - L_0}{\sin^2 \varphi} = \text{Konst.}$$

Nach den Ergebnissen des vorigen Paragraphen ist nämlich

$$L_\varphi - L_0 = \frac{g_\varphi - g_0}{\pi^2} = \frac{f_0 \sin^2 \varphi}{\pi^2} \text{ und } \frac{L_\varphi - L_0}{\sin^2 \varphi} = \frac{f_0}{\pi^2} = \text{Konst.}$$

Bezeichnen wir letztere der Kürze halber mit B, so ist allgemein $L_\varphi = L_0 + B \sin^2 \varphi$. Nunmehr ist klar, dass, wenn man von sekundären Einflüssen absieht, zwei unter verschiedenen Breiten φ_1 und φ_2 vorgenommene Messungen des Sekundenpendels genügen müssen, um sowohl L_0 als B zu berechnen. Denn aus

$$L_{\varphi_1} = L_0 + B \sin^2 \varphi_1, \quad L_{\varphi_2} = L_0 + B \sin^2 \varphi_2$$

folgt durch Subtraktion unverzüglich

$$B = \frac{L_{\varphi_1} - L_{\varphi_2}}{\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_2} = \frac{L_{\varphi_1} - L_{\varphi_2}}{(\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2)\ (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2)}$$

$$= \frac{L_{\varphi_1} - L_{\varphi_2}}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)\ \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

und durch nachherige Rücksubstitution

$$L_0 = L_{\varphi_1} - \frac{(L_{\varphi_1} - L_{\varphi_2})\ \sin^2 \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin(\varphi_1 - \varphi_2)} = L_{\varphi_2} - \frac{(L_{\varphi_1} - L_{\varphi_2}) \sin^2 \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Solchergestalt haben wir die nöthige theoretische Grundlage gewonnen, um uns mit den sozusagen geodätischen Anwendungen des Pendels im Zusammenhange bekannt machen zu können.

§. 7. **Ueberblick über die der geophysikalischen Anwendung des Pendels gewidmeten Untersuchungen.** Im Jahre 1671 ward ein französischer Akademiker, Namens Richer, nach Cayenne gesandt, wo er zwei Jahre verweilte und allerhand naturwissenschaftliche Beobachtungen anstellte, deren Verarbeitung später das Material zu einem stattlichen Reiseberichte [71] lieferte; über die uns hier interessirenden Stellen dieses Buches verbreitet sich auch Newton [72] einlässlich. Richer fand bald nach der Ankunft, dass seine in Paris vollkommen richtig

---

vorgezeichnet. Eine Menge anderer Mathematiker ist ihm auf diesem Wege gefolgt, doch scheint uns keine einwurfsfreiere Methode bisher zu diesem Behufe in Vorschlag gebracht worden zu sein, als die unlängst von Besso [69] angegebene, obschon es allerdings manche rascher zum Ziele führende giebt.

gehende Uhr nicht mehr genau Sekunden schlug, und es bedurfte einer namhaften Verkürzung der Pendelstange, um die frühere Verwendung des Zeitmessers wieder zu ermöglichen. Der Grund dieser Erscheinung liegt für uns nicht ferne, die wir wissen, dass ein nahe dem Aequator der — immerhin centrobarischen — Erde befindlicher Punkt dem Newton'schen Gesetze nach weniger kräftig angezogen wird, als ein in höherer Breite φ gelegener. Da $g_\varphi > g_0$, so folgt aus den Gleichungen

$$L_0 = \frac{g_0}{\pi^2}, \quad L_\varphi = \frac{g_\varphi}{\pi^2},$$

sofort auch $L_\varphi > L_0$, d. h. Richer musste die mitgebrachte Pendellänge verkleinern, um sein Pendel, das dieser Eigenschaft verlustig gegangen war, wieder in ein Sekundenpendel umzuwandeln. Der französische Naturforscher ahnte auch den Sachverhalt ganz richtig, allein seine Pariser Freunde waren weit davon entfernt, den Kausalzusammenhang zu begreifen und stellten allerlei andere Erklärungen auf, welche von Newton [73] mit kühler Besonnenheit zurückgewiesen wurden, von denen aber die sonderbarste jene war, welche die grössere Wärme des Tropenlandes für die Ausdehnung der Pendelstange verantwortlich machen wollte. Nach R. Wolf hat Bertrand berechnet [74], dass, wenn es mit dieser Erklärung der Pariser Akademie seine Richtigkeit gehabt hätte, der Temperaturunterschied zwischen Frankreich und Guiana 200° betragen haben müsste! Richer's Beobachtung hatte gleichwohl das Verdienst, die Gradmessungsarbeiten in Fluss zu bringen, von welchen im vorigen Kapitel die Rede war, und bei diesen sollte von nun an auch das Pendel eine Rolle von mehr und mehr steigender Wichtigkeit übernehmen.

Der Erste, welcher den Pendelmessungen eine erhöhte Theilnahme zuwandte, war Bouguer, der insbesondere den Rath gab, ein für allemal unveränderliches Pendel herzustellen und aus den an diesen beobachteten Schwingungszeiten die Länge des Sekundenpendels rechnerisch herzuleiten [75]. Zu hoher Genauigkeit erhob Borda [76] diese Gattung physikalischer Versuche; er hing eine Platinkugel an einem dünnen Metallfaden von beträchtlicher Länge auf, hing letzteren an einer Messerschneide über horizontalen Achatplatten auf und zählte die Schwingungen vermittelst der Koincidenzen — ein Verfahren, dessen Vorzüge Bessel voll und ganz anerkannte. Es wird hier das Versuchspendel neben die Uhr gestellt, und man notirt die Momente, in welchen die Spitze der Pendellinse mit jener des Uhrpendels genau gleichzeitig durch die Ruhelage geht. Zu den bedeutendsten und verdienstlichsten Versuchsreihen aus dem vorigen Jahrhundert zählt jene, zu deren Anstellung Malaspina sich nach Amerika begeben und deren Berechnung Oltmanns übernommen hatte [77].

Zu Anfang des laufenden Jahrhunderts erfuhr der instrumentelle Theil der bezüglichen Versuche eine höchst schätzbare Bereicherung. Huygens hatte in seinem berühmten Werke von der Pendeluhr gewisse Sätze bewiesen [78], aus welchen Bohnenberger ohne Mühe die Principien eines neuen unveränderlichen Pendels abzuleiten vermochte [79], dessen Länge beim Gebrauche an den verschiedensten Orten der Erde ein und dieselbe bleibt, während die absolute Länge des Sekundenpendels für den betreffenden Ort aus der genau beobachteten Zahl der Schwingungen beobachtet werden kann. Unter dem

Namen Reversionspendel gab der Engländer Kater sieben Jahre später die nämliche Vorrichtung an [80], und dieselbe feierte ihre Triumphe in den Händen des damaligen Kapitains, nachmaligen Generals Sabine, der zum Zwecke exakter Pendelmessungen einen sehr grossen Theil der Erde bereiste und seine Beobachtungen in einem höchst schätzbaren Werke [81] niederlegte. Nahe gleichzeitig wurde die klassische Arbeit Bessel's über diesen Gegenstand publicirt [82], durch welche zumal auch die Frage zum endgültigen Abschlusse gebracht ward, ob etwa die Anziehung der Erde für Körper verschiedenen Stoffes eine verschiedene sei. Der Königsberger Astronom verfertigte nämlich seine Pendellinse aus dem heterogensten Materiale, so z. B. auch aus Meteoreisen, schloss in den hohlen Linsenkörper alle möglichen Flüssigkeiten ein und erhielt doch in allen Fällen ganz die gleichen Längen für das Sekundenpendel. Nur beim Wasserpendel schien sich eine Ungleichheit fühlbar zu machen, je nachdem mit längeren oder kürzeren Pendeln operirt worden war; Lübeck hat aber nachgewiesen [83], dass bei kurzen Pendeln die relative Bewegung der Flüssigkeit zum umschliessenden Cylinder von erkennbarem Einflusse ist, indem eine Oscillation um eine zur Ebene der Pendelbewegung normale Axe eintritt. Wird diese in Rechnung gezogen, so kann man an den Bessel'schen Zahlen die erforderlichen Verbesserungen anbringen, ohne selbst auf die innere Flüssigkeitsreibung Bedacht zu nehmen. Ueberhaupt gehören diese Experimente zu den feinsten, die es giebt, und eine Fülle von Fehlerquellen gilt es durch Rechnung aus der Welt zu schaffen. So musste Bessel Mittel und Wege angeben, den Widerstand der Luft zu eliminiren [84], und ein noch glänzenderes Zeugniss seines Scharfsinnes bildet seine Analyse des Fehlers [85], der dadurch entsteht, dass die stets angewandte Messerschneide nicht wirklich eine Schneide im geometrischen Sinne, sondern eine kegelschnittförmig gekrümmte Fläche darstellt.

Je mehr Zahlenwerthe für die Länge des Sekundenpendels, unter verschiedenen Breiten gemessen, den Rechnern in Vorlage kamen, um so unmöglicher erschien es, aus denselben einen einheitlichen Werth der Erdabplattung herzuleiten. J. Biot gelangte auf diese Weise zu dem Schlusse [86], dass die Grösse α zwischen 0° und 45° im Mittel $\frac{1}{276{,}38}$, zwischen 45° und 90° im Mittel $\frac{1}{306{,}33}$ betrage, woraus als Gesammtwerth für das Intervall von 0° bis 90° allerdings ein von $\frac{1}{289}$ nur sehr wenig abweichender Werth folgen würde. Die Pendellänge hat nach Biot in Millimetern den Durchschnittswerth $(991{,}027015 + 5{,}161948 \sin^2 \varphi)$. Pouillet fand für die nämliche Fundamentalgrösse den Werth $(991{,}0256 + 5{,}0719 \sin^2 \varphi)$ und Listing endlich [87] gab die Relation $g_\varphi = (9{,}780728 + 0{,}050875 \sin^2 \varphi)$ m an, woraus sich nach unseren obigen Formeln unschwer der zugehörige Werth von L_φ berechnet. Albrecht [88] giebt folgende die besten Bestimmungen zusammenfassende Tabelle*):

*) Von den massenhaften Einzelbeobachtungen, die man reisenden Physikern und Seefahrern verdankt, kann natürlich hier blos anhangsweise die Rede sein; es genüge, ausser den schon genannten Männern noch die Namen Couplet,

Autor	Länge des Sekundenpendels in Metern	Anzahl der Pendelmessungen.
Sabine	$0{,}9909893 + 0{,}0051341 \sin^2 \varphi$	13
„	$0{,}9912771 + 0{,}0051422 \sin^2 \varphi$	25
Foster	$0{,}9910057 + 0{,}0051495 \sin^2 \varphi$	15
Airy	$0{,}9910170 + 0{,}0050868 \sin^2 \varphi$	49
Bowditch	$0{,}9910002 + 0{,}0051330 \sin^2 \varphi$	52
Baily	$0{,}9910217 + 0{,}0050987 \sin^2 \varphi$	79
Borenius	$0{,}9910250 + 0{,}0051160 \sin^2 \varphi$	47
Pouillet	$0{,}9910256 + 0{,}0050719 \sin^2 \varphi$	44
Ph. Fischer . .	$0{,}9910108 + 0{,}0051049 \sin^2 \varphi$	73
E. Schmidt . . .	$0{,}9909780 + 0{,}0051536 \sin^2 \varphi$	47

Mittelwerth unter Berücksichtigung der zuzuertheilenden Gewichte in m:
$0{,}99102 + 0{,}00510 \sin^2 \varphi.$

Schwerkraft im Meeresniveau für die Polhöhe φ in m:
$g_\varphi = 9{,}7810 + 0{,}0503 \sin^2 \varphi.$

In neuester Zeit haben wir von hervorragenden Arbeiten auf unserem Gebiete in erster Linie die umfassenden Untersuchungen E. Plantamour's mit dem Reversionspendel zu nennen [91], welche mit Benützung des Repsold'schen Kathetometers angestellt wurden. Die Beobachtungen auf dem Rigi ermöglichten es u. a. auch, die Attraktion dieses Berges in einem Werthe von $\frac{1}{12300}$ (mit einem wahrscheinlichen Fehler $= \pm \frac{1}{300000}$) zu bestimmen. Eine andere Untersuchung lieferte bemerkenswerthe Beiträge für die Taxirung der Verlässlichkeit älterer Messungen. Ziemlich um dieselbe Zeit nämlich, wo Bessel seine Versuche über die Pendellänge zu Königsberg und Berlin anstellte, suchten Schumacher und C. A. F. Peters den analogen Werth für Schloss Güldenstein in Holstein mit möglichster Genauigkeit festzustellen, und diese damaligen Forschungen sind neuerdings von C. F. W. Peters [92] und Helmert [93] einer erneuten kritischen Bearbeitung unterzogen worden, die mancherlei interessante Resultate lieferte, namentlich betreffs des retardirenden Einflusses, welchen der Magnetismus der am Apparate befindlichen Eisenmassen auf die Schwingungen ausüben kann. Ein neuer Vorschlag Finger's [94], das Reversionspendel durch das sogenannte Kommutationspendel zu ersetzen, hat jedenfalls unter dem theoretischen Gesichtspunkte Manches für sich, wenn schon zur Erhebung von Erfahrungsthatsachen für oder wider bislang noch die Zeit gemangelt hat. Sei die Dreh-

Godin, Ulloa, Warin, Des Hayes, v. Zach, Rumowski, Freycinet, Duperrey, B. Hall, v. Lütke, v. Krusenstern, Mathieu, Arago und Foster zu nennen. Eine sehr detaillirte Reihe indischer Pendelproben verdankt man neuerdings J. Herschel dem jüngeren [89]. Eine für Entdeckungsreisende beachtenswerthe Schilderung der Manipulationen, welche der Pendelapparat besonders in solchen Gegenden erheischt, wo der Beobachter einzig und allein auf sich angewiesen ist, kann man in Bessels' Beschreibung der Polaris-Expedition nachlesen [90].

axe A, die Masse des schwingenden Pendels M. Eine grössere Masse m_1 und eine kleinere Masse m_2 ($m_1 - m_2 = m$) sollen mit dem Pendel so in Verbindung gebracht werden, dass die Schwerpunkte von M_1, m_1 und m_2 in einer durch A gehenden Ebene liegen, „und dass der Schwerpunktsabstand von dieser Drehaxe während des ersten Schwingungsversuches x_1 für die Masse m_1 und x_2 für m_2, dagegen während einer zweiten Schwingungsreihe bei $m_1 \ldots x_2$, bei $m_2 \ldots x_1$ wird, demnach die Massen m_1 und m_2 im zweiten Falle nur vertauscht sind." Es existirt nun der eben von Finger gefundene merkwürdige Satz [95], dass diese Vertauschbarkeit unbeschadet der Schwingungsdauer und der (reducirten) Pendellänge l nur für $l = x_1 + x_2$ möglich ist. Der Autor hält dafür, dass Gravitationsmessungen mit seinem Kommutationspendel die Vortheile der Kater'schen und der Bessel'schen Methode in sich vereinigen würden [96].

Es war bisher (s. o.) vorausgesetzt, dass alle diese Pendelversuche am Meeresniveau angestellt seien, wo also die Verschiedenheit der Fallkonstante einzig der wechselnden Schwungkraft und den Variationen der Erdgestalt zur Last zu legen waren. Bei vielen Beobachtungen, besonders von Sabine und Malaspina, gilt diess ja auch, allein im Allgemeinen werden doch solche Beobachtungen an Orten gemacht werden müssen, welche in einiger Entfernung — sei diese eine positiv oder negativ zu nehmende — vom Meeresspiegel gelegen sind. Im ersteren Falle hat g einen zu kleinen, im zweiten einen zu grossen Werth, und wir müssen deshalb auf Mittel denken, um die auf Bergen oder in Schachten ermittelten Zahlen auf den Spiegel des Meeres zu reduciren. Bezeichnen wir [97] die Beschleunigung der Schwere an jenem mit g, in der Höhe h mit g_1 und, wie gewöhnlich, den Erdradius mit r, so ist nach Newton's Gesetze

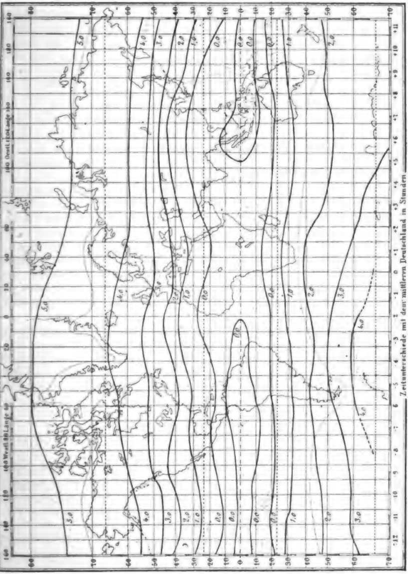
$$g_1 : g = r^2 : (r + h)^2, \quad g_1 = g \cdot \frac{r^2}{(r + h)^2} = g \left(1 - \frac{2hr + h^2}{r^2 + 2hr + h^2}\right).$$

Im Nenner kann, da h nur einen sehr kleinen Bruchtheil von r vorstellt, die Summe $h(2r + h)$ ebenso gegen r^2, wie im Zähler h^2 gegen $2hr$ vernachlässigt werden, und man bekommt so die für gewöhnliche Verhältnisse völlig brauchbare Näherungsformel $g_1 = g\left(1 - \frac{2h}{r}\right)$, woraus, da $L : L_1 = g : g_1$, sofort auch $L = L_1 : \left(1 - \frac{2h}{r}\right)$ hervorgeht. Schweremessungen im Inneren der Erde stehen uns zur Zeit nur erst in sehr beschränktem Maasse zu Gebote, und es ist deshalb eine Mittheilung v. Sterneck's [98] über eine umfängliche Versuchsreihe dieser Art um so dankenswerther. Die nachfolgende Tabelle v. Sterneck's bietet manches Bemerkenswerthe.

Seehöhe in m	Tiefe unter der Oberfläche in m	Schwingungszeit	Anz. d. Schwing. an einem Tage	Voreilen d. Uhr
+ 509,1	0,0	0,5008550	172505,0	0,0
— 6,9	516,0	0,5008410	172509,8	2,4
— 463,4	972,5	0,5008415	172509,6	2,3

Es ist hervorzuheben, dass die Pendelschwere im Inneren der Erde nur so höchst wenig variirt; es stimmt diess mit einer älteren Wahr-

Fig. 28.



nehmung Airy's, der in einer Tiefe von 383 m das Voreilen der Uhr auf 2,25″, also fast ebenso gross, bestimmte. Es ist hiebei zu beachten, dass, einem Newton'schen Theoreme [99] zufolge, die An-

ziehung einer Kugelschale auf einen im Inneren befindlichen Punkt den Werth Null hat.

Eine auch nur einigermassen auf Vollständigkeit Anspruch machende Uebersicht über die Vertheilung der Pendelschwere an der Erdoberfläche würde sich an dieser Stelle schon aus dem Grunde nicht empfehlen, weil grössere tabellarische Zusammenstellungen sich nur für ein Handbuch eignen. Wer sich hiefür interessirt, findet überreichen Stoff in einer Inauguraldissertation van Galen's [100] und auch in dem von Muncke trefflich bearbeiteten Artikel „Pendel" des neuen Gehler'schen Wörterbuches [101]. A. Steinhauser's in Gemeinschaft mit dem bekannten Feldzeugmeister v. Hauslab ausgearbeitete Uebersichtskarte, welche auf der Pariser Weltausstellung zu sehen war, eine Vervielfältigung jedoch noch nicht erfahren hatte, stellt uns in Fig. 28 den ungefähren Verlauf der Linien gleicher Pendelschwere*) vor Augen; seitdem ist allerdings viel neues Beobachtungsmaterial neu hinzugekommen, wodurch jedoch der Gesammteindruck, welchen unser Bild gewährt, nicht wesentlich beeinträchtigt werden dürfte. Man überzeugt sich, dass im Allgemeinen diese Kurven von den Breitekreisen nicht allzusehr abweichen — abgesehen von der merkwürdigen geschlossenen Nullkurve, welche der Aequator als Durchmesser durchzieht. Die Zahlen sind Millimeter und drücken die Differenzen der unter verschiedenen Polhöhen gemessenen Längen des Sekundenpendels gegenüber der für den Aequator geltenden Länge aus. Freilich ist dieselbe nicht für den ganzen Verlauf dieses Hauptkreises konstant. vielmehr beträgt die Abweichung von der zu Grunde gelegten Zahl da, wo der Gleicher die afrikanische Westküste trifft, + 0,440 und an den ebenfalls unter der Linie gelegenen Galapagos-Inseln — 0,049 mm.

§. 8. **Die Clairaut'sche und die Unferdinger'sche Pendelformel.** Fassen wir all das, was bisher über das Pendel gesagt wurde, zusammen, so können wir aussprechen, dass zur Zeit bei aller Anerkennung der in §. 2 dieses Kapitels skizzirten Messungsmethoden kein besseres Hülfsmittel zur Erkennung und zahlenmässigen Abschätzung der Variationen der Erdschwere existirt, als eben das Pendel. Noch aber haben wir nicht gezeigt, wie die Pendelmessungen auch unmittelbar dazu dienen können, die Abplattung des Erdsphäroides zu berechnen.

Schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts hatte Clairaut einen Lehrsatz gefunden, der eine solche Berechnung ermöglicht [102]. Wir leiten denselben nachstehend im Anschluss an Thomson-Tait's originelle Beweismethode her [103]. Eine Flüssigkeit rotirt um eine Axe, und es entsteht ein Umdrehungsellipsoid, dessen Schichten sich so lagern, dass in ähnlichen und ähnlich liegenden Ellipsoiden gleiche Dichtigkeit herrscht. Wir nehmen die Umdrehungsaxe als Z-Axe eines Orthogonalsystemes, bezeichnen die Winkelgeschwindigkeit mit ω und erhalten so das Potential der Schwungkraft $= \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2)$.

*) Wir ziehen es vor, diese an sich verständliche Bezeichnung zu wählen und nicht die an solchen Ausdrücken schon reiche Geophysik durch eine vielleicht hybride neue Wortform von zweifelhafter Etymologie zu bereichern.

Da $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$, können wir jenes Potential P auch $= \frac{1}{3} \omega^2 r^2 + \frac{1}{6} \omega^2 (x^2 + y^2 - 2z^2)$ setzen. a sei der Halbmesser einer Kugel, welche sich mit der rotirenden Masse M annähernd vertauschen lässt, ferner seien die Polarkoordinaten r, φ, ϑ, wo φ die Breite, ϑ die Länge bezeichnet*), mit den rechtwinkligen x, y, z durch die Gleichungen

$$x = r \cos\vartheta \cos\varphi,\quad y = r \sin\vartheta \cos\varphi,\quad z = r \sin\varphi$$

verbunden. Setzt man also in dem obigen Ausdrucke für's Potential $r = a$, $z = a \sin\varphi$, so wird

$$P = \frac{1}{3} \omega^2 a^2 + \frac{1}{2} \omega^2 a^2 \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right).$$

Das Schwungkrafts- und das Gravitationspotential ergeben für jeden Punkt (r, φ, ϑ) der rotirenden Oberfläche eine konstante Summe; das letztere Potential, welches P_1 heissen möge, ist sonach, unter F eine nicht näher bestimmte Funktion verstanden,

$$P_1 = \frac{M}{a} \left[1 + F(\varphi, \vartheta)\right] - \frac{1}{2} \omega^2 a^2 \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right).$$

Entwickelt man rechts nach steigenden Potenzen von $\frac{a}{r}$ und lässt das Funktionszeichen F in ähnlicher Weise weiter gelten, wie bisher, so ergiebt sich

$$P_1 = \frac{M}{a} \left[\frac{a}{r} + \frac{a^3}{r^3} \left(F_1(\varphi, \vartheta) - \frac{1}{2} m \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right)\right) + \frac{a^4}{r^4} F_2(\varphi, \vartheta) + \frac{a^5}{r^5} F_3(\varphi, \vartheta) + \ldots\right],$$

wo m für $\omega^2 a : \frac{M}{a^2}$ gesetzt ward; m bedeutet das Verhältniss der äquatorialen Centrifugalkraft zur Schwerkraft im Abstande a. Will man die Grösse γ der reinen (d. h. nicht von der Centrifugalkraft entstellten) Schwere haben, so findet sich aus Obigem

$$\gamma = \frac{M}{a^2} \left(1 + F_1(\varphi, \vartheta) - \frac{3}{2} m \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right) + 2F_2(\varphi, \vartheta) + 3F_3(\varphi, \vartheta) + \ldots\right).$$

Die Beschleunigung g der sichtbaren Schwere endlich resultirt hieraus durch Subtraktion der radialen Schwerkraftskomponente, deren Ausdruck $\left(\frac{2}{3} \omega^2 a + \omega^2 a \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right)\right)$ ist; so folgt

$$g = \frac{M}{a^2} \left(1 - \frac{2}{3} m + F_1(\varphi, \vartheta) - \frac{5}{2} m \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right) + 2 F_2(\varphi, \vartheta) + 3 F_3(\varphi, \vartheta) + \ldots\right).$$

Noch ist über die Funktionen F nicht verfügt worden; wir können jetzt

$$F_1(\varphi, \vartheta) = \alpha \left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right),\quad F_k(\varphi, \vartheta) = 0 \ldots (k \geqq 2)$$

*) Um mit früher gebrauchten Bezeichnungen möglichst im Einklang zu bleiben, konnte die Bezeichnungsweise der britischen Physiker nur zum Theile beibehalten werden. Auch die Darstellung musste im Interesse der Gemeinverständlichkeit einigermassen paraphrasirt werden.

setzen und erhalten

$$g = \frac{M}{a^2}\left(1 - \frac{2}{3} m - (\frac{5}{2} m - \alpha) (\frac{1}{3} - \sin^2 \varphi)\right).$$

Je nachdem $\varphi = 0^0$ oder $= 90^0$ gesetzt wird, ist also

$$g_0 = \frac{M}{a^2}\left(1 - \frac{2}{3} m - \frac{1}{3}(\frac{5}{2} m - \alpha)\right);\ g_{90} = \frac{M}{a^2}\left(1 - \frac{2}{3} m + \frac{2}{3}(\frac{5}{2} m - \alpha)\right).$$

Zieht man die zweite Gleichung von der ersten ab, so restirt

$$g_0 - g_{90} = -\frac{M}{a^2}\left(\frac{5}{2} m - \alpha\right).$$

Setzt man aber für m den uns bekannten Werth ein, so wird, da $\frac{M}{a^2} = g_0$ ist,

$$g_{90} - g_0 + \alpha g_0 = \frac{5}{2} \cdot \omega^2 a, \quad \alpha = 1 + \frac{\frac{5}{2} \cdot \omega^2 a - g_{90}}{g_0}.$$

Mit v. Lang [104] $g_{90} - g_0 = 0{,}05091$, $\omega^2 a = 0{,}03367$ setzend, bekommen wir $\alpha = \frac{1}{294}$, was mit dem uns bekannten Abplattungswerthe $\frac{1}{289}$ so ziemlich stimmt.

Nach Clairaut sollte dieses Theorem zwar zunächst nur für einen tropfbar flüssigen, dann aber auch für jeden festen Körper gelten, dessen innere Massenanordnung derjenigen einer Flüssigkeit analog wäre. Stokes bewies aber [105], dass die Gültigkeit eine noch allgemeinere ist und alle diejenigen festen Körper umfasst, für deren Inneres die Ortsflächen gleichen Potentiales harmonische Sphäroidalflächen (s. o. §. 3) sind, mögen im Uebrigen die geometrischen Oerter gleicher Dichte beschaffen sein, wie sie wollen. Philipp Fischer bemerkt [106], dass die allermeisten Bearbeiter des Problemes der Erdgestalt sich mit der obigen Clairaut'schen Formel begnügt und kein Bedürfniss verspürt hätten, den oben bei Seite gelassenen Grössen F andere Werthe als Null zu substituiren; nur der einzige Paucker [107] sei darüber hinausgegangen. In einem als entsprechende Verallgemeinerung der Clairaut'schen Relation anzusehenden Ausdrucke müssten auch die Dichtigkeitsverhältnisse im Erdinneren einen Platz finden.

Gerade, während Fischer so schrieb, erschien eine umfangreiche Abhandlung von Unferdinger [108], welche eben diese verwickeltere Aufgabe in Angriff zu nehmen bestimmt war. Wir verstehen unter g_0 und g_φ, was wir immer darunter verstanden, jedoch mit der ausdrücklichen Bestimmung, dass die Erde zunächst als nicht rotirend zu gelten habe, und deuten durch r_φ den der Breite φ entsprechenden Radius Vektor des Erdsphäroides an. Nach Unferdinger ist dann zu setzen

$$g_\varphi = g_0 \left(\frac{r_0}{r_\varphi}\right)^2 (1 + A_1 \sin^2 \varphi + A_2 \sin^4 \varphi + \ldots).$$

Der sonst nicht übliche quadratische Faktor ward beigefügt, um den Satz mitprüfen zu können, dass die Intensitäten der Schwere an der Oberfläche den Quadraten der Fahrstrahlen umgekehrt proportional seien; aus einer mit der Zeit eintretenden Veränderlichkeit der Koefficienten A sollte auf Veränderungen im Gefüge der Erde geschlossen

werden können. Setzt man e = der Excentricität, so wird die Länge L_φ des Sekundenpendels gleich

$$\frac{g_0}{\pi^2}(1 + A_1 \sin^2\varphi + A_2 \sin^4\varphi + \ldots) \cdot \frac{1 + (1 - e^2) \tang^2\varphi}{1 + (1 - e^2)^2 \tang^2\varphi}.$$

$g_0 + f_0 \sin^2\varphi = g_\varphi$ ist, wie wir wissen, die wirkliche Schwerkraft in der Breite φ; verstehen wir wieder unter f_0 die Centrifugalbeschleunigung am Aequator, unter ν den Bruch $f_0 : g_0$, so wird

$$L_\varphi = L_0 (1 + A_1 \sin^2\varphi + A_2 \sin^4\varphi + \ldots)\left(1 + \frac{\nu}{1-\nu}\sin^2\varphi\right)$$
$$\times \frac{\cos^2\varphi + (1 - e^2) \sin^2\varphi}{\cos^2\varphi + (1 - e^2)^2 \sin^2\varphi}$$

Diese allgemeinste Formel besteht also, von L_0 abgesehen, aus drei Faktoren, welche sich resp. auf die Dichteverhältnisse im Erdinneren, auf die Fliehkraft und auf die wirkliche Abplattung beziehen. Mit Rücksicht auf die Bessel'schen Werthe liefert die Methode der kleinsten Quadrate zur Bestimmung von L_φ (in Par. Linien) folgende Gleichung [109]:

$$\log L_\varphi = 2{,}6427568 + \log 7{,}35147 \sin^2\varphi + \log 5{,}3198 \sin^4\varphi$$
$$+ \log 3{,}457 \sin^6\varphi.$$

Die Vergleichung der hienach ausgearbeiteten Tabelle liess darüber keinen Zweifel, dass die Grössen A keine Konstanten, sondern erst noch näher zu bestimmende Funktionen der geographischen Breite, resp. von anderen uns noch unbekannten Instanzen abhängig sind.

Gewissen auffallenden Anomalieen in der Pendelschwere vermag auch die Unferdinger'sche Formel kein Genüge zu thun, vielmehr spricht deren Urheber ganz mit Recht sich dahin aus, dass diese Anomalieen auch bei der exaktesten Berechnungsformel wieder auftreten müssen, solange letztere auf der Annahme einer rein ellipsoidischen Erde beruht. Hieraus scheint aber mit Sicherheit zu folgen, dass diese Annahme eben keine ganz zutreffende sei. Das nächste Kapitel wird den mit diesem Zweifel angedeuteten Sachverhalt näher in's Auge fassen; für den Augenblick aber müssen wir diesen Gegenstand verlassen und uns mit der Bedeutung der Attraktionserscheinungen für das Problem, das spezifische Gewicht des Erdkörpers zu finden, beschäftigen.

§. 9. Aeltere Methoden der Dichtigkeitsbestimmung für die Erde. Jedes Verfahren, durch welches wir in §. 2, 3 und 5 Anziehungsgrösse und Anziehungsrichtung irgend eines terrestrischen Körpers für einen ausserhalb gelegenen Punkt feststellten, kann zugleich zur Bestimmung der Masse m der Erde benützt werden. Ist diese bekannt, so folgt deren Dichte oder spezifisches Gewicht d aus der Relation (r Erdradius):

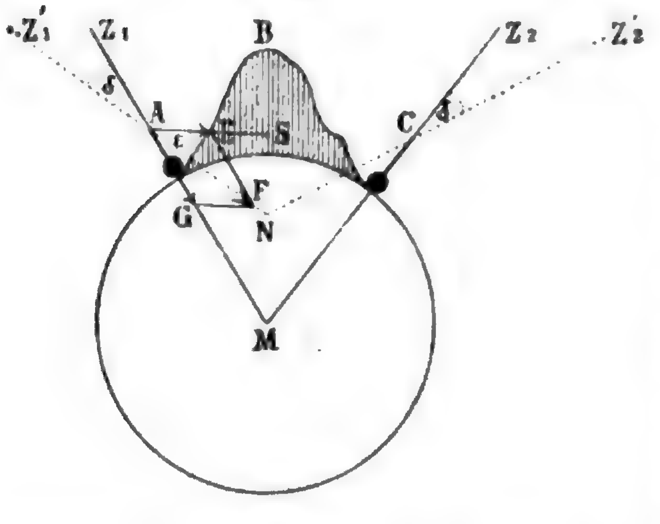
$$\text{Dichte} \times \text{Volumen} = \text{Masse}; \quad d \cdot \frac{4}{3} r^3\pi = m.$$

Selbstverständlich aber sind nicht alle diese Methoden gleich gut zu ihrem Zwecke geeignet, vielmehr haben sich nach und nach die im Folgenden beschriebenen als die besten bewährt. Wir ordnen dieselben nicht chronologisch, sondern nach dem Grade ihrer Brauchbarkeit.

I. Die Methode der Berganziehung. Nachdem Maskelyne und Hutton (s. o. §. 3) die Anziehung des Shehallien auf das Bleiloth

festgestellt hatten, giengen sie sofort auch dazu über, aus dem Betrage dieser Ablenkung einen Schluss auf die Grösse m zu ziehen. M (Fig. 29) sei der Mittelpunkt der Erde, B ein isolirter Berg, von dem man sowohl die Masse m′, als auch die Lage des Schwerpunktes S zuvor genau ermittelt hat. An zwei zu Füssen dieses Berges befindlichen Punkten A und C sind Lothe aufgehängt, deren Richtungen Z_1A und Z_2C sich, wenn die Erhebung nicht vorhanden wäre, im Mittelpunkt M der Erde schneiden würden; so aber begegnen sich die Lothrichtungen $Z_1'A$ und $Z_2'C$ in einem der Erdoberfläche näher gelegenen Punkte N. Die beiden Winkel Z_1AZ_1' und $Z_2CZ_2' = \delta$ sind dadurch zu erhalten, dass man von der geodätisch ermittelten Differenz der Polhöhen beider Orte die wirklich gemessene subtrahirt. Nun wirken auf die Kugel A zwei Kräfte: die Berganziehung, deren numerischer Werth

Fig. 29.



durch $k \cdot \frac{m'}{\overline{AS}^2}$ auszudrücken ist, wenn wir (s. o.) mit Begehung eines allerdings nicht erheblichen Fehlers die Masse des Gebirgstockes in dessen Schwerpunkt vereinigt annehmen, und andererseits die Erdanziehung $k \cdot \frac{m}{r^2}$, wenn k hier, wie vorhin (s. o. §. 1) die Gravitationskonstante bedeutet. AE und AG mögen in der Figur diesen beiden Anziehungskräften entsprechen, wo dann die wirkliche Lothrichtung der Lage nach mit der Diagonale AF des Kräfteparallelogramms zusammenfällt. $\sphericalangle EAF = \varepsilon$ kann jetzt ebenfalls gemessen werden, und wir entnehmen so dem Dreieck AFE die folgenden Proportionen:

$$AE : EF = \sin\delta : \sin\varepsilon;\ k \cdot \frac{m'}{\overline{AS}^2} : k \cdot \frac{m}{r^2} = \sin\delta : \sin\varepsilon.$$

Hieraus berechnet sich

$$m = \frac{m' \cdot r^2 \cdot \sin\varepsilon}{\overline{AS}^2 \cdot \sin\delta}.$$

Maskelyne und Hutton fanden [110] damals für d den Werth 4,7 — eine immerhin recht respektable Annäherung an den wahren Werth (s. u.), wenn man bedenkt, wie die Grössen AS und ε erst durch eine mühsame und doch nicht mit sehr grosser Genauigkeit zu bewerkstelligende Verbindung geodätischer und geognostischer Operationen zu bestimmen waren. Diese Operationen würden bei anderen Körpern leichter anzustellen sein.

So hat nach C. A. F. Peters' Berichte [111] der ältere Struve (s. o. §. 3) vorgeschlagen, zu beiden Seiten eines Kanales oder Meerbusens — z. B. desjenigen von Bristol — die Abweichungen in der Lothlinie genau astronomisch festzustellen, welche durch den höchsten und tiefsten Stand des Wassers in dieser Rinne bedingt werden. Er

fasst diesen Wasserkörper als ein Parallelepipedum von der Breite a, Länge 2 b, Höhe c, Dichte d', nimmt die Pendelkugel als in der obersten Seitenfläche gelegen und von der nächsten Kante um f abstehend an und findet so die zur Vertikalrichtung senkrechte Attraktionskomponente gleich

$$2\,d'\left(-\,f\,a\,\pi\,\text{tang}\,\frac{c}{f}+c+c\log\frac{2\,a\,b}{\sqrt{c^2+f^2}\,(b+\sqrt{a^2+b^2})}\right).$$

Unter der Voraussetzung, dass die mittlere Dichte der Erde 5,67, jene des Seewassers 1,2 ist, ergiebt sich hieraus für die Ablenkung am Ufer 0,23″, als eine immerhin messbare Grösse. Natürlich aber würde keine grosse Genauigkeit zu erreichen sein, wenn man diese Winkelgrösse direkt messen und aus ihr dann die Erdmasse berechnen wollte. Peters will daher [112] den flüssigen durch einen festen Körper, z. B. die Cheops-Pyramide, ersetzen, wo sich selbst noch in einer Entfernung von 10 Toisen von der Basis eine Deviation von fast 1″, an der Basis aber von mehr denn 1″ ergeben würde. Allein viele Gründe sprechen für das Vorhandensein ausgedehnter Hohlräume im Inneren der Pyramiden, und wenn diess der Fall, so verbietet es sich, die Dichte des Bauwerkes geometrisch zu schätzen*).

II. Die Methode der Pendelmessungen. Drobisch hat [114] zuerst gezeigt, wie man durch Beobachtung und Zählung der Pendelschwingungen die Grösse d finden könne; v. Lang, dem wir hier folgen, hat die Rechnungsschemate vereinfacht [115]. Die Tiefe eines Schachtes sei h, die daselbst aus Pendelbeobachtungen erschlossene Fallbeschleunigung G, die Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche g. Letztere Grösse ist eine Kombination aus der Anziehung einer Kugelschale von der Dicke h und einer Kugel vom Radius $\rho = r - h$; die Dichte dieser letzteren Kugel darf unbedenklich mit d identificirt werden. Dann ist die Anziehungsgrösse

$$g=k\,.\,\frac{4}{3}\pi\,.\,\frac{[(\rho+h)^3-\rho^3]\,.\,d_1+\rho^3\,.\,d}{(\rho+h)^2}=k\,.\,\frac{4}{3}\pi\left[(\rho+h)\,.\,d_1+\rho\,.\,\frac{d-d_1}{(1+h:\rho)^2}\right],$$

wenn man mit d_1 die Dichte der äusseren Erdschale bezeichnet. $h:\rho$ ist ein kleiner Bruch, von welchem nur die erste Potenz berücksichtigt zu werden braucht; thut man diess aber, so wird

$$g=k\,.\,\frac{4}{3}\pi\,.\,[(\rho+h)\,.\,d_1+(d_1-d)(\rho-2h)]=k\,.\,\frac{4}{3}\pi\,.\,[(\rho-2h)\,.\,d+3h\,d_1].$$

In der Tiefe h ist, da nach dem am Schlusse von §. 7 citirten Newton'schen Theoreme die Kugelschale sich völlig neutral verhält, die Anziehung

$$G=k\,.\,\frac{4}{3}\pi\,.\,\rho\,.\,d,$$

somit durch Division und nachherige Umformung

$$\frac{g}{G}=\frac{1}{\rho}\,.\left[\rho-2h+\frac{3h\,d_1}{d}\right];\quad \frac{d_1}{d}=\frac{2}{3}-\frac{\rho}{3h}\,.\left(1-\frac{g}{G}\right).$$

*) Es scheint neuerdings jedoch, dass auch an Bergen, wenn man nur mit den nöthigen Vorsichtsmaassregeln arbeitet, genauere Ergebnisse zu erzielen sind, wenigstens berichtet Wallentin [113], dass James späterhin am Shehallien dieselben Beobachtungs- und Messungsoperationen vornahm, wie hundert Jahre früher Maskelyne und Hutton, dass er dabei aber zu dem von der Wahrheit weit weniger abweichenden Werthe d = 5,32 gelangte.

Schon 1826 gieng Airy daran, im Geiste dieses Verfahrens die Dichtigkeit der Erde zu ermitteln, doch misslang damals sein Versuch [116], und erst als er achtundzwanzig Jahre später mit Anwendung galvanischer Signale denselben in der Kohlengrube Harton bei Newcastle wiederholte, gelang [117] die Feststellung des Werthes 6,6 für d, der freilich zu hoch war; $\left(1 - \frac{g}{G}\right)$ war $= 1 : 19200$; $\rho : h = 16000$, $d_1 = 2,5$ gesetzt worden. Haughton hat später aus Airy's Zahlangaben den zweifellos richtigeren Werth 5,48 berechnet; allein auch aus den oben (§. 7) angeführten Beobachtungen v. Sterneck's scheint zu folgen, dass völlig befriedigende Resultate überhaupt auf diese Weise nicht zu erzielen sind.

Umgekehrt kann, statt in einer Vertiefung, natürlich auch auf einer Erhöhung das Verhältniss der Fallbeschleunigungen ermittelt und dieses nachher zur Berechnung von d verwendet werden. Plana und Carlini haben den Montcenis zu diesem Zwecke benützt, und E. Schmidt hat [118] rechnerisch aus deren Angaben $d = 4,837$, also einen etwas zu kleinen Zahlenwerth, hergeleitet. Ein solcher Berg besitze die Dichtigkeit d_1, das Volumen V_1, und sein Gravitationsmittelpunkt sei um r_1 von dem auf seiner Spitze schwingenden Pendel entfernt, während d, V und r das Nämliche für die Erdkugel bedeuten mögen. Wäre der Berg nicht vorhanden, so würde für den Meereshorizont unter gleicher Breite l die Länge des Sekundenpendels sein, während die Messungen auf dem Gipfel die Länge l′ ($< l$) lieferten. Dann gilt die Proportion

$$\frac{d_1 V_1}{r_1^2} : \frac{d V}{r^2} = (l - l') : l,$$

woraus folgt:

$$d = \frac{d_1 \,.\, V_1 \,.\, r^2 \,.\, l}{V \,.\, r_1^2 \,.\, (l - l')}.$$

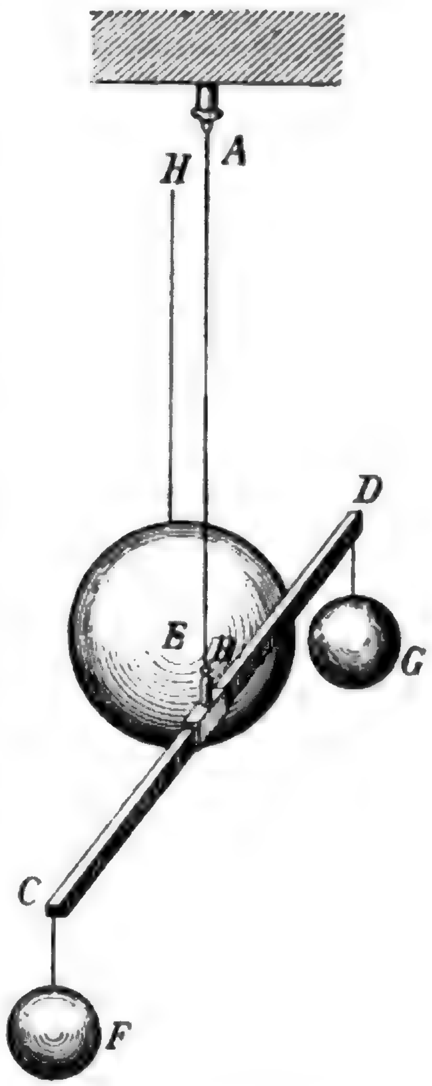
Es ist natürlich, dass diese Methode die besten Garantieen dann gewährt, wenn die Körpergestalt des Berges einige geometrische Regelmässigkeit besitzt. Deshalb wählte Mendenhall den Vulkan Fusiyama auf Nipon, der als gerader Kegel von 138° Oeffnung betrachtet werden kann. Auch fand sich $d = 5,77$, also ein gut stimmender Werth [119].

III. Die Methode der Drehwage. Dieses eben so einfache und bescheidene, als ingeniöse Werkzeug zur Messung kleiner anziehender und abstossender Kräfte wird gemeiniglich auf Coulomb zurückgeführt, welcher allerdings auf dasselbe die von ihm geschaffene Disciplin der Elektrostatik begründete [120]. Allein es ist keinem Zweifel unterworfen, dass ein genialer Physiker des XVIII. Jahrhunderts, der im Jahre 1793 gestorbene Schotte Michell, schon früher einen solchen Apparat erdacht und konstruirt hatte, und zwar in der ausgesprochenen Absicht, die Stossstärke der Sonnenstrahlen zu messen [121]; ihm schwebte offenbar ganz dieselbe Idee vor, welche später Crookes durch sein bekanntes Radiometer so trefflich zu realisiren verstand. Dieses Instrument jedoch, und zwar sofort mit grossem Erfolg, zur Bestimmung der Erdmasse und Erddichte angewandt zu haben, diess ist das unleugbare Verdienst Lord Cavendish's [122]. Unsere Fig. 30

gewährt ein allerdings nur schematisches Bild dieser Vorrichtung; die Darstellung der Methode selbst lehnt sich an diejenige Maxwell's [123] an.

Die Dreh- oder Torsionswage besteht wesentlich aus einem Stabe CD, der in B, seinem Schwerpunkt, an einem Drahte hängt, der selbst wieder in den Zapfen A der Zimmerdecke eingeklemmt ist. Dieser Stab stellt sich horizontal ein, und an dieser seiner Eigenschaft ändert sich nichts, wenn an den Enden C, D zwei gleichlange Drähte angebracht werden, an welchen hinwiederum die einander völlig gleichen kugelförmigen Massen F und G hängen. Gesetzt nun, der Kugel G werde eine andere Kugel E genähert, die auch an einem Drahte H aufgehängt ist und in jede beliebige Entfernung von G gebracht werden kann; dann wird der von E auf G geübte attrahirende Einfluss von einer gewissen Maximaldistanz an sich fühlbar machen, G nähert sich seinerseits der E, und diese Bewegung bewirkt eine Drillung des Drahtes AB, durch welche bewirkt wird, dass der Stab CD kleine horizontale Schwingungen um seine frühere Ruhelage auszuführen beginnt. Coulomb hat die Torsionskraft eines Drahtes oder Fadens zu bestimmen gelehrt: dieselbe ist proportional dem Ausschlagswinkel und der vierten Potenz des Fadendurchmessers, umgekehrt proportional der Länge dieses Fadens und zugleich der Länge des schwingenden Stabes. Mittelst einer Poggendorff'schen Spiegelvorrichtung beobachtet man jene Theilpunkte der Skala, welche den Endpunkten einer einzelnen Schwingung entsprechen, und findet diese um die Länge x und y von der Gleichgewichtslage entfernt. An diesen beiden Punkten befindet sich der Stab C D momentan in Ruhe, er leistet gar keine Arbeit, und da die Gesammtenergie offenbar dieselbe ist, so muss die der Endlage x entsprechende potentielle Energie*) derjenigen potentiellen Energie gleich sein, welche der Endlage y zukommt. Unter T die Dauer einer Doppelschwingung verstanden, ist die dem ersteren Momente entsprechende Energie durch

Fig. 30.



$$\frac{2\pi^2 \cdot m \cdot x^2}{T^2}$$

*) Die neuere Dynamik unterscheidet sorgfältig zwischen aktueller und potentieller Energie, welche zwei Begriffe Zöllner in seinem Bestreben, psychische Vorstellungen in die anorganische Naturlehre hineinzutragen, durch Lust und Unlust wiedergegeben wissen wollte. Jede der beiden Energieen kann sich sofort in die andere verwandeln; ein auf einer Unterlage liegender Stein z. B. ist ein Kraftreservoir, entwickelt aber nach Wegnahme jener unverzüglich aktuelle Energie.

und die aus der Anziehung zwischen der grossen und kleinen Kugel entspringende Energie durch

$$K - k \cdot \frac{m \cdot M}{a - x}$$

auszudrücken. m und M sind resp. die Massen der kleineren und der grösseren Kugel, K ist die von der Schwere geleistete Arbeit; den im Subtrahenden stehenden Bruch würden wir auch als das Potential der beiden Massen bezeichnen können. Addiren wir beide Ausdrücke und erwägen, dass der solchergestalt erhaltene Ausdruck sich nicht ändern kann, sobald y an die Stelle von x tritt, so haben wir zur Berechnung der Gravitationskonstante k die folgende Bedingungsgleichung:

$$K - k \cdot \frac{m \cdot M}{a - x} + \frac{2\pi^2 \cdot m \cdot x^2}{T^2} = K - k \cdot \frac{m \cdot M}{a - y} + \frac{2\pi^2 \cdot m \cdot y^2}{T^2};$$

hiernach muss sein, da links $(y - x)$ gegen $(y^2 - x^2)$ zur Rechten sich forthebt,

$$k = \frac{2\pi^2}{M \cdot T^2}(x + y)(a - x)(a - y).$$

x, y und a sind in Metermaass, M ist in Grammen, T in Sekunden ausgedrückt, k demnach vollständig bestimmt. Sobald aber die Gravitationskonstante numerisch ausgedrückt ist, hat es keine Schwierigkeit mehr, auch die Masse und damit das spezifische Gewicht der Erde auf die entsprechenden Einheiten zurückzuführen; es ist eben $d = \frac{3}{4} \cdot \frac{g}{k \cdot r \cdot \pi}$. Auf die Details der Rechnung können wir uns hier nicht einlassen, doch findet man ein vollständig durchgeführtes Rechnungsbeispiel in der kosmischen Physik von J. Müller [124]. Die Substanz der Kugeln ist, wie schon aus den Bessel'schen Pendelversuchen zu entnehmen war, ohne Einfluss auf das Resultat, und Baily's gleich näher zu besprechende Experimente, bei welchen Massen, aus den verschiedensten Stoffen verfertigt, zur Verwendung gelangten, vermochten somit nur zu bestätigen, was man bereits anderweit wusste.

Cavendish selbst fand auf einem ähnlichen Wege (a. a. O.) d = 5,48. Später stellte Reich (1837 und 1847) je eine ausgedehnte Versuchsreihe an; beide Reihen führten zu fast übereinstimmenden Resultaten [125], indem zuerst 5,49 und später 5,583 erhalten wurde. Aus etwa 2000 Experimenten mit der Torsionswage zog der Engländer Baily die Zahl 5,66 [126]. Endlich haben in neuester Zeit Cornu und Baille nochmals die Drehwage angewendet [127] und dabei Werthe erlangt, welche zwischen 5,50 und 5,56 schwankten. Es liegt auf der Hand, dass diese Messungsmethode eine viel zu feine und viel zu sehr gelegentlichen Fehlern ausgesetzte ist, um eine absolute Genauigkeit verbürgen zu können. Man stellt zwar die ganze Vorrichtung in einem Gehäuse auf, und der Beobachter kontrolirt die Schwingungen durch ein in diesem angebrachtes Glasfenster, allein je feiner die einzelnen Theile gearbeitet und mit einander verbunden sind, um so einflussreicher erweisen sich die nämlichen Störungen, deren schon oben bei Beschreibung des Darwin'schen Pendelapparates gedacht wurde.

Da man seit Gauss weiss, dass Messungen bei bifilarer Aufhängung im Allgemeinen stets genauere Ergebnisse liefern, als bei blos unifilarer Aufhängung, so erschiene es angezeigt, das Hengler-

Zöllner'sche Horizontalpendel (§. 2) zur Bestimmung der Erddichte nutzbar zu machen. Zöllner hat zwar diese Aufgabe auf sein Programm gesetzt gehabt, sich aber später zu sehr mit überirdischen Dingen beschäftigt, um der tellurischen Frage ein weiteres Interesse zuzuwenden. Jetzt aber verfügt man über ein noch weit vollkommeneres Hülfsmittel zur Lösung des Problemes, welches alle übrigen in den Hintergrund gedrängt hat.

§. 10. **Die Wägungsmethode.** Nachdem der Münchener Physiker v. Jolly bereits bei früheren Gelegenheiten darauf aufmerksam gemacht hatte, dass die gewöhnliche zweiarmige Wage nicht blos für andere Aufgaben der Präcisionsphysik, sondern auch speziell für Gravitationsmessungen das zweckdienlichste Instrument sei, weil sich der Wägungsfehler bis auf 0,001 Milligramm herabdrücken lasse [128], zeigte er in einer späteren Abhandlung [129] auch, wie durch einfache Wägungen die Dichte unseres Erdkörpers gefunden werden könne. Der Gedanke, von welchem er sich hiebei leiten liess, ist durch seine Einfachheit ausgezeichnet. Im Oberstock eines vor Erschütterungen zu bewahrenden Gebäudes ist eine feine Wage aufgestellt; die Schwingungen der Zunge lassen sich mittelst eines Ablesefernrohres aus einer solchen Entfernung beobachten, dass die Person des Beobachters keine attrahirende Wirkung mehr ausüben kann. Von jeder der beiden Schalen führt ein 20—25 m langer Metalldraht wiederum zu einer Schale. Gesetzt nun, ein Körper von der Masse M sei in einer der oberen Schalen durch Gewichtstücke genau äquilibrirt; nimmt man jetzt den Körper fort und legt ihn in die entsprechende untere Schale, so wirkt die Anziehungskraft der Erde stärker auf ihn ein, und damit steigt die mit den Gewichten beschwerte obere Schale in die Höhe. Aus dieser Bewegung lässt sich die Gewichtszunahme des Körpers berechnen. Bringt man aber direkt unter die den Körper enthaltende untere Schale eine hinreichend grosse Bleikugel, so wirkt diese ihrerseits anziehend auf jenen, und eine stärkere Schwankung des Wagebalkens wird die Folge sein. Ist a_1 die zuerst, a_2 die unter dem Einflusse der Bleikugel beobachtete Gewichtszunahme, so stellt $a = a_2 - a_1$ die attraktive Wirkung der Bleikugel dar. Nun haben aber die drei im vorigen Paragraphen beschriebenen Methoden den gemeinsamen Zug, dass unmittelbar aus der Anziehung, welche ein Körper von bekannter Grösse und Dichte auf einen zweiten Körper ausübt, auch auf die Grösse der Anziehung der Erde und damit zugleich auf die Masse der letzteren geschlossen wurde. Genau so hat man im vorliegenden Falle zu handeln.

Die Bleikugel besitzt die Masse μ, das spezifische Gewicht δ, den Radius r_1 und ihr Mittelpunkt ist um s von dem Schwerpunkt des in die untere Schale der Doppelwage gelegten Körpers entfernt. Dann ist die Kraft K, mit welcher der Körper und die Bleikugel sich gegenseitig anziehen, gegeben durch

$$K = k \,.\, \frac{M \,.\, \mu}{s^2} = \frac{4}{3} \,.\, k \,.\, M \,.\, \delta \,.\, r_1 \,.\, \frac{r_1^2}{s^2} \pi.$$

Wenn dagegen r und d ihre uns von früher her bekannten Bedeutungen beibehalten, so ist die zwischen dem Prüfungskörper und der

Erdkugel obwaltende Anziehung, für welche wiederum der Buchstabe g eintreten möge,

$$g = \frac{4}{3} . k . r . d . \pi . M.$$

Durch Division folgt hieraus, da M sich forthebt,

$$\frac{K}{g} = \frac{r_1}{r} . \frac{\delta}{d} . \frac{r_1^2}{s^2}.$$

Dem Obigen zufolge ist $MK = a_2 - a_1 = a$, $Mg = a_1$, $K : g = (a_2 - a_1) : a_1$. Wird dieser Werth in der zuletzt erhaltenen Gleichung substituirt, so folgt schliesslich

$$\frac{r_1^3 . \delta}{r . d . s^2} = \frac{a_2 - a_1''}{a_1}; \quad d = \frac{a_1 . r_1^3 . \delta}{a . r . s^2}.$$

r, s, r_1 und δ sind von Anfang an völlig bekannt; a_2 aber und a_1 vermögen mit einer Akribie gemessen zu werden, wie nur selten bei physikalischen Experimenten. Demnach verdient der Werth v. Jolly's, $d = 5{,}692$ (mit einem wahrscheinlichen Fehler $= \pm 0{,}068$) wohl das meiste Vertrauen unter allen bisher abgeleiteten, „weil", wie sich Zöppritz ausdrückt [130], „das Instrument, womit die Zahl erlangt ist, die Wage, unter allen physikalischen Messapparaten theoretisch wie praktisch am besten bekannt und am leichtesten kontrolirbar ist."

Völlig unabhängig von Jolly hat ein englischer Physiker, Poynting in Manchester, einen ähnlichen Apparat erfunden und in gleichem Sinne nutzbar gemacht [131]. Er machte 11 Einzelbestimmungen und fand für die mittlere Dichtigkeit der Erde Werthe zwischen 4,415 und 7,172, im Mittel aber, ganz wie v. Jolly, 5,69.

Diesen Zahlwerth werden wir also von nun an dauernd festzuhalten haben. Die neuere Naturlehre unterscheidet allerdings in etwas zwischen den Begriffen Dichte und spezifisches Gewicht, doch hat diese mehr philosophische Trennung für die Geophysik zunächst noch keine Bedeutung. Unser d ist eine reine Zahl, von der nullten Dimension, deren Sinn in Kürze dahin ausgesprochen werden kann: Wäre der Erdball ein homogener Körper, so würde ein Kubikmeter Erdmaterie dmal mehr wiegen, als ein Kubikmeter destillirten Wassers im Zustande der grössten Koncentration. Die Dichte derjenigen Substanzen, aus welchen der unserer direkten Einsicht zugängliche Theil unseres Planeten sich zusammensetzt, ist eine weit geringere, indem für die ganze Erdkruste nur eine Durchschnitts-Eigenschwere = 2,5 angenommen werden darf; hieraus scheint zu folgen, dass die Dichtigkeit wachsen wird, je mehr man sich von der Erdoberfläche entfernt.

[1] Kästner, Geschichte der Mathematik, 4. Band, Göttingen 1800. S. 241. — [2] Chasles, Geschichte der Geometrie, hauptsächlich mit Bezug auf die neueren Methoden, deutsch von Sohncke, Halle 1839. S. 348. — [3] Sir Isaac Newton's mathematische Principien der Naturlehre, deutsch von Wolfers, Berlin 1872. S. 386. — [4] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 466 ff. — [5] Newton's math. Princ. etc. S. 167. — [6] Isenkrahe, Das Räthsel der Schwerkraft, Kritik der bisherigen Lösungen des Gravitationsproblemes und Versuch einer neuen auf rein mechanischer Grundlage, Braunschweig 1879. — [7] Zöllner, Ueber die Natur der Cometen; Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntniss, Leipzig 1883. S. 105 ff. — [8] Ibid. S. 127. — [9] v. Oppolzer, Ist das Newton'sche Anziehungsgesetz zur Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper ausreichend; hat man Veranlassung, dasselbe nur als Näherungsausdruck zu bezeichnen? Tagebl.

d. 54. Versamml. d. Naturf. u. Aerzte, Salzburg 1881. 1. Abtheilung, S. 125 ff. — [10] Ibid. S. 132. — [11] Isenkrahe, Das Räthsel etc. S. 195. — [12] Günther, Geophysikalische Hypothesen, geprüft durch Libellen- und Pendelapparate, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 328 ff. — [13] Zech, Lorenz Hengler, Erfinder des Horizontalpendels, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 496. — [14] Hengler, Astronomische Pendelwage, nebst einer neuen Nivellirwage, Dingler's polytechn. Journal, 43. Band. S. 81 ff. — [15] Safařik, Beitrag zur Geschichte des Horizontalpendels, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Bd. S. 150 ff. — [16] Zöllner, Zur Geschichte des Horizontalpendels, ibid. 150. Band. S. 140 ff. — [17] Gruithuisen, Ritter Bessel's Versuche über die Kraft, mit welcher die Erde Körper von verschiedener Beschaffenheit anzieht, und von des Herausgebers Elkysmometer und Hengeller's Schwungwage, Neue Analekten f. Erd- u. Himmelskunde, 1. Heft. S. 39 ff. — [18] Hengler, Astron. Pendelwage etc. S. 146. — [19] Perrot, Appareils à rendre manifestes et mesurables les variations occasionnées dans l'intensité et la direction de la pesanteur à la surface de la terre, par les mouvements de notre globe et l'attraction des corps célestes, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LIV. S. 728 ff. — [20] Ibid. S. 851. — [21] Zöllner, Ueber eine neue Methode zur Messung anziehender und abstossender Kräfte, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 131 ff. — [22] H. J. Klein, Vierteljahrsrevue der Naturwissenschaften, 1. Heft, Leipzig und Köln 1875. S. 2. — [23] Zöllner, Beschreibung und Anwendung des Horizontalpendels, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 134 ff. — [24] Stoll, Mathematisch-physikalische Miscellen, Bensheim 1878. S. 1 ff. — [25] C. A. F. Peters, Von den kleinen Ablenkungen der Lothlinie und des Niveau's, welche durch die Anziehung der Sonne, des Mondes und einiger terrestrischer Gegenstände hervorgebracht werden. Bull. de la physico-math. de l'acad. imp. de St.-Pétersbourg, tome III. S. 212 ff. — [26] Carl, Die Principien der astronomischen Instrumentenkunde, Leipzig 1863. S. 88. — [27] Ph. Plantamour, Sur les mouvements périodiques du sol, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XCII. S. 329 ff. — [28] Mascart, Sur les changements de la gravitation, ibid. tome XCVI. S. 126 ff. — [29] Issel, Note sur un instrument destiné à mesurer l'intensité de la pesanteur, Bull. de la soc. impér. des natural. de Moscou, Année 1882. I. S. 134 ff. — [30] Bohnenberger, Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung, vorzüglich vermittelst des Spiegelsextanten, Göttingen 1795. S. 165. — [31] G. H. Darwin, Ueber ein Instrument zur Beobachtung und Messung kleiner Aenderungen in der Richtung der Schwerkraft, Beibl. z. d. Ann. d. Phys. u. Chem., 6. Band, 2. Stück. S. 59 ff. — [32] Paraira, Over de methoden ter bepaling van te aantrekking eener ellipsoide op en willekeurig punt, Amsterdam 1879. — [33] Grube, Zur Geschichte des Problemes der Anziehung der Ellipsoide, Schleswig 1883. — [34] Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, 1. Band, 2. Theil, Braunschweig 1874. S. 27. — [35] Ibid. S. 379 ff. — [36] Newton's math. Princ. etc. S. 192 ff. — [37] Kunzek, Lehrbuch der Physik mit mathematischer Begründung, Wien 1860. S. 102 ff. — [38] Schlömilch, Der Attraktionscalcül, Halle 1851. S. 7 ff. — [39] Günther, Ueber elementare Behandlung gewisser Punkte der mathematischen Geographie, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 7. Jahrgang. S. 91 ff. — [40] Lagrange, Remarques générales sur le mouvement de plusieurs corps qui s'attirent mutuellement en raison inverse des carrés des distances, Nouv. Mém. de l'acad. de Berlin, Année 1777. S. 155 ff. — [41] Green, Essay on the application of mathematical analysis on the theories of electricity and magnetism, Nottingham 1828. — [42] Gauss, Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte, Göttingen 1840. — [43] Clausius, Das Potential und die Potentialfunktion, Leipzig 1877. S. 1 ff. — [44] Bacharach, Abriss einer Geschichte der Potentialtheorie, Göttingen 1883. — [45] Zöppritz, Ueber die Schwankungen des Meeresspiegels in Folge von geologischen Veränderungen, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 11. Band. S. 1016 ff. — [46] Ibid. S. 1022 ff. — [47] Thomson-Tait, Theor. Phys. S. 324 ff. — [48] A. v. Humboldt, Kosmos, 4. Band, Stuttgart und Tübingen 1849. S. 30 ff. — [49] v. Zach, L'attraction des montagnes, Avignon 1814. — [50] Ph. Keller, Ricerche sull' attrazione delle montagne, Roma 1872. — [51] Bouguer, La figure de la terre, déterminée par les observations de MM. De la Condamine et Bouguer, Paris 1749. S. 388 ff. — [52] Liesganig, Dimensio graduum meridiani Viennensis et Hungarici jussu et auspiciis Augg. peracta, Vindobonae 1770. S. 211 ff. — [53] Maskelyne, An account of observations made on the mountain Shehallien for finding its attraction, Phil. Transact. Vol. LXV. S. 500 ff. — [54] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 628. — [55] Denzler,

Die Ablenkung des Senklothes durch die Gebirge, Zürich 1866. — [56] v. Baeyer. Ueber den Einfluss der lokalen Lothablenkungen auf geodätische Operationen Astr. Nachr. (2) Nr. 87. — [57] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1879. S. 175. — [58] Lossen, Ueber den Zusammenhang der Lothablenkungswerthe auf und vor dem Harz mit dem geologischen Bau des Gebirges. Sitzungsber. d. Gesellsch. naturf. Freunde zu Berlin, 1881. S. 19 ff. — [59] Ibid. S. 24 ff. — [60] I. Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 786. — [61] Schweizer, Untersuchungen über eine in der Nähe von Moskau stattfindende Lokalattraktion, Moskau 1864. — [62] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk. S. 176. — [63] J. Newton's math. Princ. etc. S. 401 ff. — [64] Fliedner, Lehrbuch der Physik, Braunschweig 1880. S. 148 ff. — [65] Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879. S. 230. — [66] Huygens, De causa gravitatis, Op. rel., Tom. I, Lugduni Batavorum 1703. S. 93. — [67] Hamberger, Dissertatio de experimento ab Hugenio pro causa gravitatis explicanda invento, Jenae 1723. — [68] Kulik, Elementarischer Beweis der Formel für die Schwingungszeit des einfachen Pendels, (Baumgartner- v. Ettingshausen's) Zeitschr. f. Phys. u. Math., 1. Band. S. 337 ff. — [69] Besso, Sulla durata dell' oscillazione del pendolo semplice circolare, Roma 1883. — [70] Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, Leipzig 1876. S. 330. — [71] Richer, Observations astronomiques et physiques, faites en l'isle de Cayenne, Paris 1679. — [72] Newton's math. Princ. S. 406 ff. — [73] Ibid. S. 408. — [74] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 614. — [75] Bouguer, Figure de la terre etc. S. 338 ff. — [76] Delambre, Base du système métrique, Vol. III, Paris 1810. S. 337. — [77] Oltmanns, Beobachtungen über die Schwere, welche in den Häfen von Europa, Amerika und Asien, auf dem stillen Meere und in Neuholland während Malaspina's Weltumsegelung mit dem unveränderlichen Pendel angestellt worden sind, Journ. f. d. reine u. angew. Mathem., 4. Band. S. 72 ff. — [78] Huygens, Horologium oscillatorium, Parisiis 1673. S. 88. — [79] Bohnenberger, Astronomie, Tübingen 1811. S. 448. — [80] Kater, Experiments for determining the length on the pendulum vibrating seconds in latitude of London, Phil. Trans.. Vol. CXII. S. 33 ff. — [81] Sabine, An account of experiments to determine the figure of the earth, London 1825. — [82] Bessel, Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels, Berlin 1828. — [83] Lübeck, Notiz zu den Bessel-schen Pendelversuchen, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 476 ff. — [84] Bessel, Untersuch. etc. S. 32 ff. — [85] Ibid. S. 69 ff. — [86] J. Biot, Sur la figure de la terre, Mém. de l'acad. royale des sciences, Année 1829. S. 1 ff. — [87] Listing. Neue geometrische und dynamische Constanten des Erdkörpers, Nachr. v. d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen, 1877. S. 797 ff. — [88] Bremiker's logarithmisch-trigonometrische Tafeln mit sechs Decimalstellen, neu bearbeitet von Albrecht, Berlin 1883. S. 597. — [89] J. Herschel, Account of the operations of the great trigonometrical survey of India, Vol. V, Calcutta 1879. — [90] Bessels, Die amerikanische Nordpol-Expedition, Leipzig 1879. S. 224 ff. S. 317. — [91] E. Plantamour, Expériences faites à Genève avec le pendule à reversion. Genève et Bâle 1866; Nouvelles expériences faites avec le pendule à reversion et détermination de la pesanteur à Genève et au Righi-Kulm, Genève et Bâle 1872. — [92] C. F. W. Peters, Beobachtungen mit dem Bessel'schen Pendelapparate in Königsberg und Güldenstein, ausgeführt im Auftrage des geodätischen Institutes, Hamburg 1874. — [93] Helmert, Recension hiezu, Vierteljahrsschr. d. astron. Gesellsch., 11. Jahrgang. S. 33 ff. — [94] Finger, Ueber ein Analogon des Kater-schen Pendels und dessen Anwendung zu Gravitationsmessungen. Wien 1881. — [95] Ibid. S. 4 ff. — [96] Ibid. S. 25. — [97] Fliedner, Auflösungen zu den Aufgaben aus der Physik, Braunschweig 1880. S. 52. — [98] v. Sterneck, Untersuchungen über die Schwere im Inneren der Erde, ausgeführt im Jahre 1882, in dem 1000 m tiefen Adalbertsschachte des Silberbergwerkes zu Příbram, Mittheil. d. k. k. militärgeogr. Inst. zu Wien, 2. Band, Wien 1882. — [99] Newton's math. Princ. etc. S. 191. — [100] van Galen, Dissertatio mathematica inauguralis de pendulo ejusque applicatione ad telluris figuram determinandam, Amstelodami 1830. — [101] Gehler's physikalisches Worterbuch, 2. Auflage, 7. Band, 1. Abtheilung, Leipzig 1832. S. 375 ff. — [102] Clairaut, Théorie de la figure de la terre. Paris 1743. S. 139 ff. — [103] Thomson-Tait, Theor. Phys. S. 351 ff. — [104] v. Lang, Einleitung in die theoretische Physik, 1. Theil, Braunschweig 1867. S. 98. — [105] Stokes, On the variation of gravity, at the surface of the earth, Cambridge 1849. — [106] Ph. Fischer, Untersuchungen über die Gestalt der Erde, Darmstadt 1868. S. 16. — [107] Paucker, Die Gestalt der Erde, Bull. de la cl.

physico-mathém. de l'acad. imp. d. sc. de St.-Pétersbourg, N. 303 ff. — [108] Unferdinger, Das Pendel als geodätisches Instrument, Archiv d. Math. u. Phys., 49. Theil. S. 309 ff. — [109] Ibid. S. 315 ff. — [110] Maskelyne-Hutton, An account of the calculation made from the survey and measure's taken of Shehallien, in order to ascertain the mean density of the earth, Phil. Trans. Vol. LXVIII. S. 689 ff. — [111] C. A. F. Peters, Von den kleinen Ablenkungen etc. S. 217 ff. — [112] Ibid. S. 222. — [113] Wallentin, Ueber die Methoden zur Bestimmung der mittleren Dichte der Erde und eine neue hierauf bezügliche Anwendung der Wage, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 214. — [114] Drobisch, Ueber die Pendelbeobachtungen in den Gruben von Dolcoath, Ann. d. Phys. u. Chem., 10. Band. S. 444 ff. — [115] v. Lang, Einleitung etc. S. 104 ff. — [116] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk. S. 179. — [117] Airy, Account of pendulum experiments undertaken in the Harton Colliery, for the purpose of determining the mean density of the earth, Phil. Trans. Vol. CXLVI. S. 297 ff. — [118] E. Schmidt, Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie, 2. Band. Göttingen 1830. S. 481 ff. — [119] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrb., 9. Band, Gotha 1883. S. 4. — [120] Poggendorff, Gesch. d. Phys. S. 890 ff. — [121] Ibid. S. 892. — [122] Cavendish, Experiments to determine the density of the earth, Phil. Trans. Vol. LXXXVIII. S. 469 ff. — [123] Maxwell, Substanz und Bewegung, deutsch von v. Fleischl, Braunschweig 1879. S. 134 ff. — [124] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 273 ff. — [125] Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage, Freiberg 1838; Neue Versuche mit der Drehwage, Abh. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wisschftn., M.-ph. Kl., 1. Band. S. 383 ff. — [126] Baily, Experiments with the torsion rood for determining the mean density of the earth, London 1843. — [127] Cornu-Baille, Détermination nouvelle de la constante de l'attraction et de la densité moyenne de la terre, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXVI. S. 954 ff. — [128] Wallentin, Ueber die Methoden etc. S. 215. — [129] v. Jolly, Anwendung der Wage auf Probleme der Gravitation, Abh. d. k. bayr. Akad. d. Wisschftn., M.-ph. Kl., 14. Band; Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 14. Band. S. 331 ff. — [130] Zöppritz, Die Fortschritte etc. S. 5. — [131] Poynting, On a method of using the balance with great delicacy and on its employment to determine the mean density of the earth, Proceed. of the r. society of London, XXXVIII. S. 2 ff.

Kapitel III.

Das Geoid.

§. 1. Unregelmässigkeiten der Erdgestalt. Wir haben schon im ersten Kapitel dieser Abtheilung gesehen, dass die geodätische Vermessung der Erde keine Resultate ergab, welche mit irgend einer strenge mathematischen Oberflächenform jener in vollkommenen Einklang zu bringen gewesen wären, und so verfielen nach Gerlach's Angabe bereits im vorigen Jahrhundert einzelne Gelehrte, wie Buffon, De la Condamine und Boscovich auf die Meinung [1], dass die Erde überhaupt keine regelmässige Gestalt besitze, dass vielmehr die Meridiane sämmtlich einander unähnlich gebildet seien. Die mühsamsten Versuche eines Bessel und Walbeck [2], denen aus neuerer Zeit noch diejenigen von Clarke (s. o.) und ganz besonders von Santini [3] hinzuzufügen wären, vermochten nicht, sämmtliche verschiedene Längen von Breiten- und Längengraden auf ein und demselben Ellipsoid, mochte dasselbe nun als ein zwei- oder dreiaxiges angenommen werden, gehörig unterzubringen. Jedem einzelnen Landkomplex schien

sozusagen ein besonderer Abplattungswerth zuzukommen. Die Schwierigkeit steigerte sich noch, als man an die Sichtung des reichlich aufgespeicherten Materiales von Pendelbeobachtungen herantrat; denn während es schon schwer genug war, Beobachtungen dieser Art, die an verschiedenen Stellen der Erde angestellt waren, mit der sphäroidischen Hypothese zu vereinigen, so wollte es doch noch viel weniger gelingen, aus den Grad- und aus den Pendelmessungen übereinstimmende Abplattungswerthe herzuleiten.

§. 2. **Die Gestalt der Meeresoberfläche.** Dass von dem Festlande völlig abzusehen sei, wenn man eine Konkordanz der vorbezeichneten Art herzustellen beabsichtige, darüber war man sich im Beginne des laufenden Jahrhunderts klar genug, da man die lothablenkende Wirkung der Gebirgsmassen nur zu deutlich erkannt hatte. Die Meeresoberfläche dagegen schien Einflüssen stärkeren Betrages durchaus nicht zu unterliegen, und es schien nichts im Wege zu stehen, dieser Fläche, welche man sich in unzähligen Kanälen unter den Kontinenten fortgesetzt dachte, nunmehr ein mehr Erfolg verheissendes Studium zuzuwenden. Diese Fläche hatte, so nahm man an, eine wirklich geometrische Form, wenn auch nicht gerade diejenige eines Ellipsoides; sie musste sich demzufolge durch eine Gleichung $f(x, y, z, a_1, a_2 \ldots a_n)$ ausdrücken lassen, und Gradmessungen sowohl wie Gravitationsbeobachtungen hatten nur mehr den Zweck, die konstanten Grössen $a_1 \ldots a_n$ zu liefern. Gradmessungen auf offenem Meere giebt es nun allerdings nicht zu verwerthen. Es ist uns überhaupt nur ein einziger dahin zielender Vorschlag bekannt, derjenige des Sicilianers Philippus Arena, welcher sehr ausführlich die Idee entwickelte [4], an den Endpunkten eines astronomisch fixirten Meridionalbogens Schiffe fest zu verankern und die Bestimmung ihres linearen Abstandes durch direkte Kettenmessung zu bewerkstelligen. Aus naheliegenden Gründen hat man dieser an sich ganz sinnreichen Anregung keine Folge gegeben. Da sonach der geodätische Weg nicht betretbar war, so erschien es um so nothwendiger, die physikalische Methode energisch in den Dienst des Problemes zu stellen, welches die Bestimmung der Meeresgestalt anstrebte; Gauss [5] und Bessel [6] erwarben sich das Verdienst, die Lösung so weit zu führen, als sie unter der zu Grunde gelegten ungenauen Annahme überhaupt geführt werden konnte.

OXYZ (Fig. 31) sei ein orthogonales Koordinatensystem im Raume, der willkürlich angenommene Punkt P sei durch x, y, z gegeben und um r von dem der Erde angehörigen Massenelemente dm entfernt, während ρ dessen Entfernung von der Rotationsaxe RR darstellen möge. Das über die Gesammtmasse der Erde erstreckte Integral

$$\int \frac{dm}{r} = \Omega$$

ist, wie wir uns aus Kapitel II, §. 3 erinnern, das Potential der Erde mit Bezug auf den Punkt (x, y, z). ω sei die Winkelgeschwindigkeit der rotirenden Erde; alsdann ist

$$W = \Omega + \frac{1}{2}\omega^2\rho^2$$

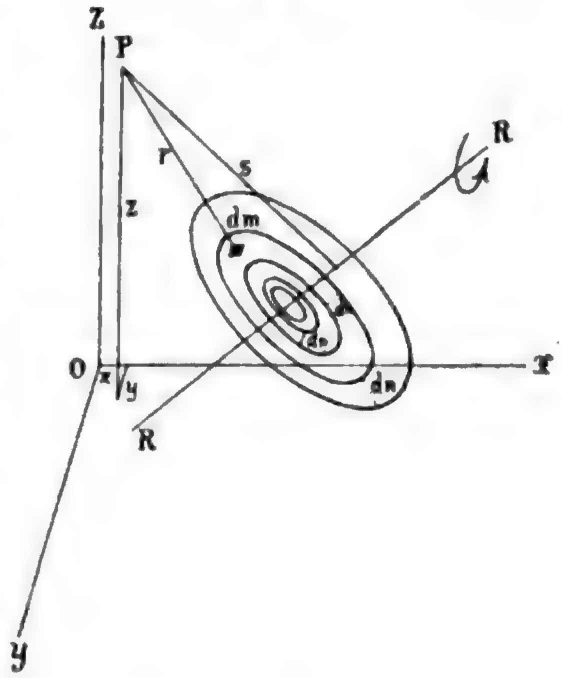
die sogenannte Kräftefunktion. Versteht man ferner unter D die

Dichte im Punkte P, so gilt, wie die Potentialtheorie beweist, die partielle Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = -4D\pi + 2\omega^2.$$

Die Gleichung W = o signalisirt, geometrisch gedeutet, ein Gebilde zweiter Dimension, d. h. eine Fläche, und zwar führt die betreffende Fläche den Namen einer Niveaufläche. Die Schwere ist für eine solche Niveaufläche konstant, ihre Grösse ist durch die Relation $g = -(dW : dn)$ gegeben, wo dn das nach aussen gerichtete Linienelement der an die Fläche gezogenen Normale bedeutet. Die Funktion W ist sammt ihren ersten Ableitungen stetig, aus welchem Grunde auch die Niveauflächen stetig sind und keinerlei Diskontinuitäten in Form von Ecken oder Kanten aufweisen können. Es ist wohl zu beachten, dass die einzelnen Niveauflächen nicht etwa dasjenige sind, was die Raumgeometrie Parallelflächen nennt; d. h. der Abstand zweier benachbarter Niveauflächen ist nicht allenthalben gleich gross, sondern, wenn man ihn längs der Normalen misst, umgekehrt proportional der Schwere. Einem schon von Dahlander [7] angedeuteten Satze zufolge ist nämlich (s. o.)

Fig. 31.



$$dn = -\frac{dW}{g} \; {}^{*)}.$$

Gauss und Bessel fehlten nun darin, dass sie den Spiegel des Meeres mit einer Niveaufläche identificirten. Dass das Gleichgewicht kein absolutes, vielmehr ein durch die Gezeiten, durch Winde und eine Fülle anderer Ursachen getrübtes sei, konnten selbstverständlich Männer von dem hohen Range der genannten keinen Augenblick übersehen, doch hielten sie diese Störungen für unwesentlich. Erst die fortschreitende Wissenschaft hat uns mit dieser Auffassung, wie mit so mancher anderen, allmählig brechen lassen.

§. 3. **Der Meeresspiegel keine Niveaufläche.** Die Ansicht nämlich, dass es ein gewisses mittleres Durchschnittsniveau der Meere geben müsse, auf welches als auf eine stets gleichbleibende Fläche alle Distanzen u. s. w. bezogen werden könnten, hat sich mehr und mehr als eine unhaltbare herausgestellt. Die neueren Nivellements haben

*) Zur Seite steht dieser Relation die folgende: $h = C \,.\, \triangle N$, wo h den (endlichen, aber kleinen) Abstand zweier Niveauflächen, $\triangle N$ die Differenz der auf je einen Tag entfallenden Pendelschwingungen in beiden Flächen und C eine Konstante bezeichnet, die etwa 120 m beträgt. Hann, der für diesen Satz einen sehr einfachen Beweis mittheilt, erklärt [8] das Pendel für ein wichtiges Höhenmessungsinstrument, und diess ist es zweifelsohne auch, wenn der Begriff „Höhe" richtig verstanden wird.

die früher vielfach behauptete und wieder bestrittene Thatsache ausser Zweifel gesetzt, dass auch die Normalpegel verschiedener Meere eine Höhendifferenz ergeben. Zudem kann, selbst wenn Ebbe und Fluth auf irgend eine Weise als ausser Berücksichtigung bleibend erkannt worden sein sollten, die Oberfläche des Meeres noch immer nicht als eine ruhige gelten, denn dasselbe wirkt doch stets als ein Wasserbarometer von gigantischen Dimensionen, und die stetig wechselnde Temperatur bewirkt Luftdruckschwankungen, welche sich wieder in den Oscillationen des Niveau's abspiegeln. Von den stationären Meeresströmungen ist dabei noch nicht einmal die Rede gewesen. Einer der rührigsten Vertreter der englischen geodynamischen Schule, G. Darwin, hat jüngst [9] den Effekt zu berechnen versucht, welchen ein Wechsel im Luftdruck auf die Gestalt der Erde auszuüben vermag, und wenn auch dieser Effekt der festen Erde gegenüber kein erheblicher ist, so vermag er sich doch sehr energisch an deren tropfbarflüssiger Umhüllung zu bethätigen.

Alle diese Irregularitäten treten jedoch in den Hintergrund vor einer anderen konstant wirkenden Störung, mit welcher wir uns jetzt eingehender beschäftigen müssen. Eine je grössere Menge von genauen Messungen der Pendelschwere man nämlich unter die Hand bekam, um so klarer stellte es sich heraus, dass zwischen den am Rande eines Festlandes oder auf einer frei liegenden Insel vorgenommenen Messungen ein tief greifender Unterschied obwalte, welcher sich unmöglich durch Beobachtungsfehler erklären liess, sondern gebieterisch eine mechanische Erklärung herausforderte. Saigey [10] bleibt das Verdienst, zuerst eine solch vergleichende Uebersicht der aus den Pendelversuchen folgenden Zahlen gegeben und das dieselben beherrschende Gesetz angedeutet zu haben. Wir glauben mit geringem Wortaufwande den Charakter dieser „Unregelmässigkeit von regelmässigem Charakter“ nicht besser schildern zu können, als wenn wir im Folgenden Hann's Darstellung [11] vollinhaltlich wiedergeben: „Wenn man die Stationen mit ihren Fehlern in Reihen anordnet, so dass sie von der See landeinwärts sich folgen, so kann man deutlich die Abnahme der Intensität in dieser Richtung erkennen, z. B.*):

Spitzbergen + 4,3; Hammerfest — 0,4; Drontheim 2,7.
Dünkirchen — 0,1; Paris — 1,9; Clermont — 3,9; Figeac — 3,8; Toulon — 0,1.
Padua + 0,7; Mailand — 2,8. Jamaika — 0,8; Trinidad — 5,2.

Aus der Zusammenstellung der Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Schwingungszahlen per Tag nach der Berechnung von Borenius (Abplattung gleich $\frac{1}{285,3}$) lässt sich folgende Uebersicht geben:

*) Als Norm für die folgende Tabelle ist die Anzahl der Schwingungen genommen, welche das Sekundenpendel zu London im Verlaufe Eines Tages macht. Wäre diese Zahl a und an einem anderen Orte (a ± b), so würde oben jener Ort mit der Zahl ± b anzusetzen sein. Die eingeklammerte Ziffer bedeutet die Anzahl der Beobachtungen. Was die benützte Arbeit von Borenius [12] anlangt, so entstammt sie allerdings schon dem Jahre 1843.

Mittlere Fehler in Schwingungen des Londoner Sekundenpendels per Tag.

Stations-Gruppen	Küstenpunkte	Inseln
A. 23° S. bis 28° N. Breite	− 4,0 (9)	+ 3,7 (13)
B. 33° bis 51° N. und S. Breite . .	— 2,0 (7)	fehlen
C. Jenseits 51° N. und S.	— 0,6 (11)	+ 1,6 (7)

Die durchschnittliche Differenz der Intensität der Schwere auf Inseln und Küstenpunkten beträgt in der Gruppe A, welche die einzige ist, die Inseln fern von Kontinenten enthält, 8 Schwingungen des Londoner Sekundenpendels per Tag, es erhöht sich diese Zahl auf 9, wenn man die oceanischen Inseln allein den Küstenpunkten gegenüberstellt."

§. 4. **Aeltere und neuere Erklärungsversuche dieser Abweichung.** Den allein richtigen Weg, zu einem richtigen Verständnisse dieser anscheinend so seltsamen Unregelmässigkeiten in der Vertheilung der Schwerkraft zu gelangen, hatte bereits A. v. Humboldt mit dem ihn stets auszeichnenden Takte erkannt. Anknüpfend an den von Bessel [13] ausgesprochenen Satz, dass die Voraussetzung einer absolut gleichbleibenden Schwere selbst für ein und denselben Ort der Erde keine zutreffende sei, sagt er im Kosmos [14], „örtliche Modifikationen der Anziehungskraft und durch dieselbe hervorgebrachte veränderte Krümmung einer Portion des flüssigen Elementes" vermöchten recht wohl eine Aenderung in den Höhenverhältnissen der irdischen Gebirge herbeizuführen. Humboldt war also mit sich darüber im Reinen, dass es einen fixen Nullpunkt nicht gäbe. In bestimmteren Sätzen formulirte Rozet [15], was sein Vorgänger nur obenhin ausgesprochen hatte: das Meer werde an einzelnen Stellen durch die Anziehung der dem Gestade benachbarten Massen in die Höhe gezogen, an anderen wieder trete es zurück, und es würden so Oertlichkeiten blossgelegt, die sich eigentlich unter dem Meeresspiegel befinden müssten. Gleicher Meinung huldigte Bruchhausen in einem Schriftchen, welches er 1846 im Manuskripte an Humboldt sandte, und von welchem Penck [16] einige Auszüge mittheilt. Saigey (a. a. O.) und Stokes [17] traten der Frage auch rechnerisch näher, und der Erstere zumal wollte gefunden haben, dass an den Küsten von Europa, Asien, Afrika, Nord- und Südamerika das Meer in Folge der kontinentalen Attraktion resp. um 36, 144, 172, 54 und 76 Meter gehoben werden müsse.

Mag auch diese Schätzung — denn von einer eigentlichen Berechnung kann man nicht sprechen — auf Genauigkeit wenig Anspruch machen können, so war doch gewiss der ihr zu Grunde liegende Gedanke ein fortbildungsfähiger. Gleichwohl konnten Männer von Gewicht dieser Meinung nicht beitreten, verfielen vielmehr auf Hypothesen, die uns zum Theile recht sonderbar anmuthen. Dem trefflichen Airy wollte insbesondere die Richtigkeit der Thatsache nicht einleuchten, dass die Lokalattraktion der gigantischen Gebirgsmassen, von welchen die vorderindische Halbinsel im Norden umsäumt wird, sich so gar nicht fühlbar machen sollte, dass sogar an vielen Orten diese Anziehung eher einen negativen Werth anzunehmen schien, und da das Faktum selbst

nicht in Abrede zu stellen war, so verfiel er auf eine Erklärung [18], welche er selbst nicht umhin konnte als eine „sonderbare“ zu bezeichnen. Die Berge und Tafelländer sollen nach ihm in die feurigflüssige Masse hinabtauchen und von dieser theilweise getragen werden, so dass dem archimedischen Gesetze entsprechend ein erheblicher Gewichtverlust eintreten muss. Die Flüssigkeit wird dadurch verdichtet, die Niveauflächen sind unter sonst gleichen Umständen unterhalb einer Bergkette weiter von einander entfernt, als unterhalb des Meeresbodens. Ja man könnte hienach sogar sagen: die Erde ist ungleich dick, dünner unter den Meeren, als unter den Kontinenten. Eine sehr eingehende Darstellung und Prüfung der Airy'schen Hypothese gab Zanotti-Bianco [19].

Gerade die umgekehrte Ansicht, wie Airy, hat sich Faye [20] gebildet, er nimmt an, dass in Folge ungleicher Abkühlung die Erdkruste unter den Oceanen dicker sei, als unter den Festländern. Im Uebrigen erachtet der Pariser Astronom, gewiss mit Unrecht, den durch Schwerebeobachtungen festgestellten Gravitationsunterschied an verschiedenen Orten für zu gering, um bei Bestimmung der Erdgestalt überhaupt in Frage zu kommen.

§. 5. **Ph. Fischer's Untersuchungen.** Gegen das Ende der sechziger Jahre war trotz der Rührigkeit der Geodäten und des Eifers der Physiker das Studium der Frage nach der wahren Gestalt der Erde in eine gewisse Stagnation gerathen; es hatten sich Schwierigkeiten erhoben, die mit den gewöhnlichen Hülfsmitteln nicht besiegt werden zu können schienen. „Es erschien mir die Zeit gekommen,“ schrieb damals Philipp Fischer [21], „wo die Sache ernstlich in die Hand genommen werden musste; ich fühlte eine Aufforderung hiezu und unterzog mich gerne der sehr weit ausschauenden Arbeit.“ In der That darf diese Arbeit als eine äusserst dankenswerthe bezeichnet werden, denn mit dem die Früchte derselben sammelnden Buche Fischer's war das Eis gebrochen, und es konnte wieder rüstig weiter gearbeitet werden. Angesichts der zeitgeschichtlichen Bedeutung dieses Werkes dürfte es sich daher wohl empfehlen, einen kurzen Ueberblick über dessen Inhalt hier einzuschalten.

Nachdem Fischer das Wesen der beiden Methoden, welche durch direkte Gradmessung und durch vergleichende Zusammenstellung von Pendelbeobachtungen die Oberflächenform des Erdkörpers bestimmen wollen, ohne Rücksicht auf störende Einflüsse gekennzeichnet hat, analysirt er [22] mit einer Sorgfalt, wie sie bis dahin noch nicht aufgewendet worden war, die Störungen der normalen Schwerkraft. Die Integralausdrücke für die Ablenkung, welche das Bleiloth in der Nähe von Gebirgsmassen erkennen lässt (Kap. II, §. 4) werden aufgestellt und diskutirt; nicht minder wird direkt und numerisch erörtert [23], um wie viel ein Pendel in der Nähe solcher ablenkender Körper rascher oder langsamer schwinge, als unter gewöhnlichen Umständen. Die aus dem Gegensatze zwischen Land und Meer entspringenden Lothablenkungen wagt der Autor bei der Unsicherheit der empirischen Daten vorsichtigerweise nicht eigentlich zu berechnen, doch taxirt er sie wenigstens obenhin und überzeugt sich [24] von der „enormen Grösse des Betrages der betreffenden Lothablenkungen“. Hieran schliesst sich eine scharfe Kritik des Grundprincipes der Pendelmes-

sungen, basirend auf dem Satze, dass man Messungen auf dem Festlande als das Normale zu betrachten habe [25]. Wohl den wichtigsten Theil des Ganzen aber repräsentiren in ihrer Gesammtheit das vierte und fünfte Kapitel [26], in welchen untersucht wird, welcherlei konstante und zufällige Fehler jedes geodätische oder geophysikalische Resultat entstellen, und wie sich bisher die Ausgleichungsrechnung, die Methode der kleinsten Quadrate, mit diesen Fehlern abgefunden hat. Wir verweisen auf unsere Einleitung in die Meteorologie (5. Hauptabtheilung, Kap. 1), wo wir das Wesen dieser fruchtbaren Methode mit wenigen Strichen zu zeichnen versuchen, und bemerken hier nur so viel: Dieses Verfahren kann nur dann mit Sicherheit angewendet werden, wenn die unschädlich zu machenden Irrthümer in die Klasse der sogenannten zufälligen, d. h. unvermeidlichen Fehler gehören; konstante Fehler müssen dagegen unabhängig von jener Rechnung ermittelt und beseitigt werden, ehe man den schematischen Kalkul beginnt. Ph. Fischer gieng, das lässt sich nicht leugnen, in seiner Abneigung gegen die höhere Wahrscheinlichkeitsrechnung viel zu weit, allein darin hatte er zweifellos Recht, dass er den bisher von der Geodäsie begangenen Fehlschluss aufdeckte, der darin bestand, dass man die aus der Lokalattraktion resultirenden Unrichtigkeiten mit den übrigen Fehlern der Beobachtung, des Instrumentes u. s. w. ganz unter den gleichen Gesichtspunkten betrachtet und behandelt hatte. Namentlich war damit auch die Genesis jener „negativen Anziehung“ oder Lothabstossung aufgedeckt, welche man irrigerweise dem Himalaya zugeschrieben und mit Hülfe geschraubter Hypothesen (§. 4) zu begreifen versucht hatte. Eine Ahnung des Richtigen hatte der von Fischer [27] citirte Döllen, der sich bei einer Kritik des Schubert'schen Versuches (Kap. I, §. 11), dem zweiaxigen Erdellipsoid ein solches mit drei Axen zu substituiren, folgendermassen aussprach: „Die ganze Schrift scheint uns ein recht dringliches Beispiel, wohin man gelangt, wenn man meint, auf Zahlen, die der Beobachtung entnommen sind, weiter bauen zu dürfen, ohne zuvor eine ganz präcise Vorstellung von der denselben, ihrer Natur und der Art ihrer Herleitung nach, anhaftenden Unsicherheit gewonnen zu haben.“ Besonders gründlich beschäftigt sich Fischer [28] mit den Ansichten, die Airy (s. o.) der ostindischen Gradmessung abgewonnen hatte, sowie mit den Arbeiten Pratt's, der schon 1855 gegen die hydrostatische Senkungstheorie seines Landsmannes aufgetreten war [29]. Pratt ist es [30] auch gewesen, der die Grundlage der Lehre Airy's durch den Hinweis auf die Wirkung des Meeres vernichtete, doch scheint ihm die Tragweite dieser Wahrnehmung nicht zum vollen Bewusstsein gekommen zu sein [31]. Um so energischer ward dieselbe von Fischer ausgebeutet, der die Ergebnisse seines mühsamen Untersuchungswerkes in neun Thesen zusammenfasste. Dieselben werden ihrer fundamentalen Bedeutung halber nachstehend wörtlich reproducirt [32]: „I. Dem zwischen den Grundformeln zur Bestimmung der Gestalt und Grösse der Erde einerseits und den durch die Praxis der Messungen andererseits herrschenden Zwiespalt muss ein grösseres Gewicht beigelegt werden, als bisher geschah, und ihm muss bei Benützung der vorhandenen Messungen zur Ermittelung jener Resultate besonders Rechnung getragen werden. II. Der Gegensatz der Dichtigkeit der kontinentalen und oceanischen Massen verursacht

allgemeine Lothablenkungen, welche in einerlei Art über ausgedehnte Erdstriche herrschen. Aehnliches wird durch die Wirkung massenhafter Gebirge und Hochländer verursacht. III. Auf der Halbinsel von Vorderindien finden sich alle die Umstände vereinigt, welche grössere allgemeine Lothablenkungen verursachen; es ist deshalb diese Halbinsel ein zu Breitengradmessungen durchaus nicht geeignetes Land, und die dort vollendete Messung steht in den ihren Resultaten hiedurch anhängenden Mängeln mit den Forderungen der Theorie so entschieden im Widerspruch, dass sie nicht zur Berechnung der Gestalt und Grösse der Erde mit benützt werden darf. IV. Die grossen Fehler der Amplituden der ostindischen Messung verbergen sich bei den mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate geführten Rechnungen durch Mitwirkung der grossen Koefficienten. V. Schliesst man die Resultate der ostindischen Messung bei der Berechnung der Erdgestalt vollständig aus, so liefern diejenigen der übrigen Gradmessungen einen wesentlich anderen Werth der Abplattung, als unter der Mitwirkung jener Messung. Der erstere Werth stimmt sehr nahe mit dem aus den Pendelmessungen erhaltenen überein. VI. Das von E. Schmidt in die Rechnungsmethode eingeführte Verfahren zur Berechnung der Polhöhefehler leistet im Allgemeinen nicht, was es verspricht, bei allgemeinen Lothablenkungen führt es aber nur zu Täuschungen der übelsten Art. VII. Das Airy'sche Theorem, wonach Hochlandmassen keine beträchtlich ablenkende Wirkung auf das Loth ausüben sollen, ist im Allgemeinen völlig unrichtig, und die Punkte der ostindischen Messung haben grosse Lothablenkungen. VIII. Die Gegensätze der Dichtigkeit der kontinentalen und oceanischen Massen, ebenso wie die hohen Tafelländer, erzeugen sehr grosse Unregelmässigkeiten in der sogenannten mathematischen Gestalt der Erde, welche als mehrere hundert Toisen hohe wellenförmige Erhebungen, deren breiter Saum auf der Meeresoberfläche wirklich vorhanden ist, und deren höchste Punkte auf der eingebildeten mathematischen Erdoberfläche über den Kontinenten liegen, auftreten. IX. Diese in der wirklichen Meeresoberfläche sich findenden Abweichungen von der Fläche des Rotationsellipsoides sind die Ursachen, weshalb die unter gleicher Breite liegenden Punkte nicht gleiche Grösse der Schwerkraft zeigen; sie erklären die bis jetzt nicht genügend aufgeklärten Abnormitäten in der Grösse der Schwerkraft, welche durch die Pendelmessungen zu Tage gefördert worden sind."

§. 6. **Das Geoid.** Fischer's Kritik der früheren Leistungen, sein Nachweis der Fehler, an welchen jede — geodätische oder geophysikalische — Lösung des Problemes der Erdgestalt bisher gekrankt hatte, seine Vernichtung der Ansicht, dass man mit einem wie immer beschaffenen Ellipsoide zur Darstellung aller vorhandenen Messungen ausreichen könne — das Alles hat seinen bleibenden Werth. Doch war sein Verdienst immerhin mehr ein negatives, und wenn auch Niemand darüber im Zweifel sein kann, dass ein fehlerhaft angelegter Bau selbst dann niedergerissen werden muss, wenn es nicht möglich ist, unverzüglich einen besseren an dessen Stelle aufzurichten, so mochte doch freilich der Stand des Problemes, nachdem Fischer sein Werk geschrieben hatte, als ein ziemlich trostloser erscheinen. Denn offenbar

hatte sich jetzt die völlig neue Fragestellung ergeben: Was hat man unter den Worten Gestalt der Erde eigentlich zu verstehen? Eine anscheinend recht befriedigende Antwort auf diese sich aufdrängende Frage glaubte Listing gegeben zu haben, indem er vorschlug, die Meeresoberfläche, wie sie sich unter dem attraktiven Einflusse der Landmassen gestaltet, als das Geoid zu bezeichnen [33]. Er entwarf auch ein skizzenhaftes Bild von dem Verlaufe dieser Fläche, erklärte es aber für hoffnungslos, jetzt schon ein dem Geoid sich möglichst nahe anschmiegendes Sphäroid ausfindig machen zu wollen; „zur Erfüllung der idealen Forderung, ein Rotationsellipsoid zu finden der Art, dass erstens die geoidischen Erhöhungen über und die Vertiefungen unter der Ellipsoidfläche gleiche Beträge, oder dass Geoid und Sphäroid gleiches Volumen erhalten, und dass zweitens die Summe der Beträge von Erhöhungen und Vertiefungen ein Minimum sei, werden unsere Messungen, wie bisher, so auch noch in sehr fernen Zeiten unzureichend sein“ [34].

Die Terminologie Listing's wurde als eine sehr praktische von den Fachmännern angenommen, über seine Annahme dagegen, dass der Spiegel der See ein wirkliches Geoid repräsentire, musste weggegangen werden. Wusste man doch (s. o. §. 3), dass die Meeresfläche unmöglich eine Niveaufläche sein könne, und nur Hand in Hand mit dem Studium dieser letzteren durfte, davon überzeugte man sich täglich mehr, die Forschung nach der wahren Gestalt der Erde ihre Aufgabe zu lösen hoffen. Thomson-Tait stellen [35] einige Betrachtungen zu dem Zwecke an, den Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf den Verlauf der Niveauflächen zu ermitteln. Allerdings ist dabei die nicht ganz mit der Wirklichkeit stimmende Voraussetzung gemacht, dass die Erde ein homogenes harmonisches Sphäroid sei; sämmtliche Niveauflächen würden dann harmonische Sphäroidalflächen von der nämlichen Ordnung sein. Jene Niveaufläche, die einen der Erde inhaltsgleichen Körper umschliesst, schneidet die Erdoberfläche in einer Linie oder in einer Gruppe von Linien, welche die mittlere Niveaulinie darstellt. Wäre k die Ordnung der bezüglichen harmonischen Funktion, so betrüge die Abweichung der Niveaufläche $\frac{3}{2k+1}$ von der Abweichung der sphäroidalen Oberfläche, jede dieser Abweichungen von einer gewissen mittleren Kugelfläche aus gerechnet. „Wenn die Substanz der Erde homogen wäre, so würde eine Reihe paralleler Bergketten und Thäler eine entsprechende, näherungsweise wellenförmige Gestalt der Niveaufläche in dem mittleren Distrikt erzeugen; die Höhe, zu welcher sich dieselbe unter jedem Bergkamme erhebt, oder sich unter die Höhe der ungestörten Niveaufläche über der Mitte eines Thales herabsenkt, ist das Dreifache desselben Bruchtheiles der Höhe des Berges über dem mittleren Niveau oder der Tiefe des Thales unter demselben, welches die Breite des Berges oder Thales von dem Umfange der Erde ist“ [36].

Ueberlegungen dieser Art mussten endlich dahin führen, den Begriff des Geoides in einem erweiterten Sinne zu fassen. Eine kleine, aber inhaltsreiche Schrift eines deutschen Mathematikers [37] hat diese Erweiterung angebahnt und zugleich allen auf schärfere Bestimmung der Erdgestalt gerichteten Versuchen Wege vorgezeichnet, deren Ver-

folgung zur Erreichung des wenn auch noch weit entfernten, aber doch schon deutlich erkennbaren Zieles hinleiten wird *).

§. 7. **Definition und Bestimmung des Geoides nach Bruns.** Das charakteristische Moment dieser wichtigen Neuerung ist folgendes: Keine der unendlich vielen Niveauflächen der Erdrinde hat das geringste Recht, vor den übrigen irgend ausgezeichnet zu werden. Hätte der Seespiegel die ihm früher zugeschriebenen Eigenschaften, so wäre es selbstverständlich das Nächstliegende, sich an ihn zu halten, allein da eben jene Annahme eine unrichtige war, so bleibt die Meeresoberfläche zunächst ganz ausser Betracht und muss auf die Bezeichnung „Geoid" verzichten. Kein besonderes Individuum aus der Schaar von Niveauflächen, welche als „Erdrinde" bezeichnet werden mag, darf den anderen gegenüber das Geoid heissen; wohl aber ist es gestattet, irgend ein solches Individuum aus der Menge willkürlich herauszugreifen, und diejenigen Eigenschaften desselben, welche es mit den übrigen gemein hat, sind wirklich geoidische. Halb unbewusst haben diesem Grundsatze bis jetzt schon alle Gradmessungen gehuldigt, indem jede einzelne diejenige Niveaufläche besonders auszeichnete, in welche sie den Nullpunkt ihrer Nivellements verlegte. Die Geoide sind also unter sich keineswegs identisch; kennt man aber eines unter ihnen, so führt dessen Kenntniss vermittelst der uns bereits bekannten Gleichung $g = -(dW : dn)$ zur Kenntniss aller benachbarten Geoide.

Was nun die allgemeinen Eigenschaften der Geoide betrifft, so steht zunächst Folgendes fest: Das Bildungsgesetz einer solchen Fläche lässt sich nicht durch einen wie immer gearteten Ausdruck darstellen, die Fläche ist mithin geometrisch irregulär, doch setzt sie sich zusammen aus einzelnen Stücken regulärer Oberflächen. Durch Kanten u. dgl. können diese Einzelbestandtheile nach dem, was uns über die analytischen Merkmale einer Niveaufläche bekannt ist, nicht mit einander in Verbindung stehen, vielmehr ist der Uebergang ein unmerklicher und kontinuirlicher. Es würde natürlich nichts im Wege stehen, den irregulären Charakter der Geoidfläche durch Entwickelung in trigonometrische Reihen zu verwischen, doch wäre angesichts der zu erwartenden langsamen Konvergenz dieser Reihen keinerlei praktischer Nutzen von solch' mühsamer Arbeit abzusehen. Nachdem schon Bessel in seiner ostpreussischen Gradmessung den fruchtlosen Versuch gemacht hatte, einen geschlossenen analytischen Ausdruck für das Geoid zu eruiren, kam Yvon Villarceau, als die permanente Gradmessungskommission vor neun Jahren in Paris zusammentrat, wieder auf diesen Gedanken zurück, doch dürfte wohl Bruns Recht behalten, wenn er das Vergebliche all' dieser Bemühungen mit den treffenden Worten kennzeichnet [40]: „Ebensowenig, wie man versuchen wird, das Bild, welches eine geognostische Karte gewährt, mit einigem Anspruch auf Treue in eine Formel zu zwängen, wird man auf ein brauchbares Resultat rechnen dürfen, wenn man es unternimmt, für die Gestalt der

*) Eine sehr verdienstliche Popularisirung der theilweise nicht ganz leicht verständlichen Ideen, von welchen die Bruns'sche Abhandlung getragen wird, verdankt man Zech [38]. Auch der Verf. dieses ist bestrebt gewesen [39], diese neuen Anschauungsweisen zugleich mit einer Reihe anderer für das Problem der Erdgestalt belangreicher Fragen einem grösseren Publikum mundgerecht zu machen.

Geoide einen Ausdruck zu suchen, der die wahre Form derselben bis auf Quantitäten von der Ordnung der Beobachtungsfehler angiebt." Bruns spricht hier fast mit denselben Wendungen einen Gedanken aus, dem schon ein Geometer des XVIII. Jahrhunderts Ausdruck verlieh, als er sich gegen die Sucht seiner Zeitgenossen wandte, durch Entwickelung in Potenzreihen für jede Aufgabe der mathematischen Physik eine stereotype Lösung erzwingen zu wollen [41]. Den Namen des klugen Mannes hat man uns leider nicht überliefert.

Wenn nun auch, wie erwähnt, die Krümmung der Geoidfläche, als lediglich von den ersten Ableitungen beeinflusst, durchweg eine stetige sein muss, so verhält es sich doch ganz anders mit dem sogenannten Maasse der Krümmung, in dessen analytischen Ausdruck bekanntlich auch zweite Differentialquotienten eingehen. Dieses Krümmungsmaass erleidet sprungweise Aenderungen. Im Allgemeinen sind die Geoide durchaus nach aussen konvex, doch ist an sich eine gegentheilige Krümmung keineswegs ausgeschlossen. Dass die Niveauflächen der Erdkruste keine konkaven Stellen besitzen, lässt sich mit grosser Wahrscheinlichkeit aus dem Umstande erschliessen, dass Lothstörungen von besonders grossem Betrage zur Zeit nicht bekannt sind. Die tiefer in der Erde gelegenen Niveauflächen besitzen dagegen zweifellos jenen wellenförmigen Durchschnitt, welchen wir auch auf unserer Fig. 33 zum Ausdruck zu bringen versucht haben.

Erwähnt sei noch, dass man für das Wesen der bisher rein analytisch aufgefassten Niveauflächen auch eine noch weit übersichtlichere Anschauung gewinnen kann, sobald man mit Zech [42] den Begriff der mathematischen Arbeit zu Hülfe nimmt. Jeder von einem Geoid umschlossene Körper darf als ein centrobarischer gelten, und es ist somit auch erlaubt, nach wie vor von einem Erdmittelpunkte zu reden. Denkt man sich nun von diesem Punkt aus einen materiellen Punkt nach verschiedenen Richtungen fortgeschoben, so erfüllen alle Punkte, bis zu welchen der fragliche Massenpunkt in der nämlichen Zeit mittelst Aufwendung des nämlichen Arbeitsquantums emporgehoben werden konnte, eine Niveaufläche, welche demgemäss natürlich auch eine geschlossene sein muss. Dass diese Flächen in einer homogenen oder doch wenigstens in koncentrischen Ringen eine gleiche Massenvertheilung aufweisenden Kugel selbst sphärisch sein müssen, leuchtet ein, und nicht minder wird klar, dass, wenn die Vertheilung der Masse keine reguläre ist, auch die mit dieser Anordnung im allerengsten Zusammenhange stehenden Niveauflächen keinen geometrisch-regulären Charakter besitzen können.

Konstruirt man die orthogonalen Trajektorien der Geoide, Kurven, welche die Flächen sämmtlich unter rechten Winkeln durchschneiden, so erhält man die sogenanten Kraftlinien, deren Berührende im Durchschnittspunkt die Gravitationsrichtung anzeigen. Diese Kurven sind stetig gekrümmt, ohne Spitzen oder Rückkehrpunkte, wohl aber ist ihr Krümmungsmaass ebenso wie das Azimut ihrer Schmiegungsebenen den von der Massenvertheilung abhängigen Unstetigkeiten unterworfen.

Treten wir jetzt der mathematischen Betrachtung der Geoide näher. Wie oben (in Fig. 31) seien x, y, z die Koordinaten eines beliebigen Punktes P; x', y', z' diejenigen eines Massenelementes dm

des Erdkörpers; das Potential von d m ist dann

$$\Omega = \int \frac{d\,m}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}}.$$

Wenn, wie in unserem Falle, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ einen hinreichend grossen Werth hat, so kann Ω in eine Reihe nach fallenden Potenzen von r entwickelt werden, und zwar wird, $\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} = r'$ gesetzt,

$$\Omega = \frac{1}{r}\int d\,m + \frac{1}{r^3}\int d\,m\,(xx' + yy' + zz') +$$
$$\frac{1}{2\,r^5}\int d\,m\,.\,\frac{3\,(xx' + yy' + zz') - r^2\,r'^2}{2} + \ldots$$

Da über die Wahl des Koordinatensystems nichts vorausgesetzt war, so können wir dessen Axen mit den im Schwer- oder Mittelpunkt der Erde zusammentreffenden Hauptträgheitsaxen des Erdkörpers identificiren; ist dann M die Erdmasse, M A, M B, M C je eines der Trägheitsmomente*) für diese Axen, so gelten nach bekannten Sätzen der Dynamik nachstehende Relationen:

$$\int d\,m = 0, \int x'\,d\,m = \int y'\,d\,m = \int z'\,d\,m = \int x'\,y'\,d\,m = \int y'\,z'\,d\,m =$$
$$\int z'\,x'\,d\,m = 0, \int d\,m\,(y'^2 + z'^2) = M\,A, \int d\,m\,(z'^2 + x'^2) = M\,B,$$
$$\int d\,m\,(x'^2 + y'^2) = M\,C;$$

das zweite Glied der obigen Reihe kommt in Wegfall, und man hat

$$\Omega = \frac{M}{r} + \frac{M}{2\,r^5}\Big[x^2\,(B + C - 2\,A) + y^2\,(C + A - 2\,B)$$
$$+ z^2\,(A + B - 2\,C)\Big] + \ldots$$

Lassen wir alle Glieder dieser Reihe, mit Ausnahme der wirklich hingeschriebenen, bei Seite, so ist Ω annähernd gleich diesem Ausdruck U, und wird hiezu noch das Schwungkraftspotential $\frac{1}{2}\,\omega^2\,(x^2 + y^2)$ addirt, so hat man die Kräftefunktion W, resp. man hat empirisch die Ueberzeugung gewonnen, dass die Differenz

$$W - \left(U + \frac{1}{2}\,\omega^2\,(x^2 + y^2)\right)$$

für alle Punkte der Erdrinde klein genug ist, um in erster Annäherung vernachlässigt werden zu können, und lediglich diesem Faktum hat man es zu danken, dass der an sich ungerechtfertigte Versuch, ein Erdellipsoid geodätisch und zugleich durch Pendelbeobachtungen dessen Abplattung ermitteln zu wollen, noch so leidlich gelungen ist. Die Flächen U = Konst. wären die geeigneten geometrischen Vertreter der nun einmal nicht geometrisch, sondern allein mechanisch definirbaren Geoide; freilich sind auch erstere keine eigentlichen Sphäroide, aber doch harmonische Sphäroidalflächen im Sinne der Thomson-Tait-schen Terminologie.

*) Wir erinnern daran, dass für ein Massenelement d m, welches mit einem Schwungradius r rotirt, das Trägheitsmoment für jene Rotationsaxe durch r^2 dm auszudrücken ist. Hat man es nicht mit einem Elemente, sondern mit einem ganzen Körper zu thun, so ist durch einen Summations-, resp. Integrationsprocess der Ausdruck über alle dem Körper angehörende Elemente zu erstrecken.

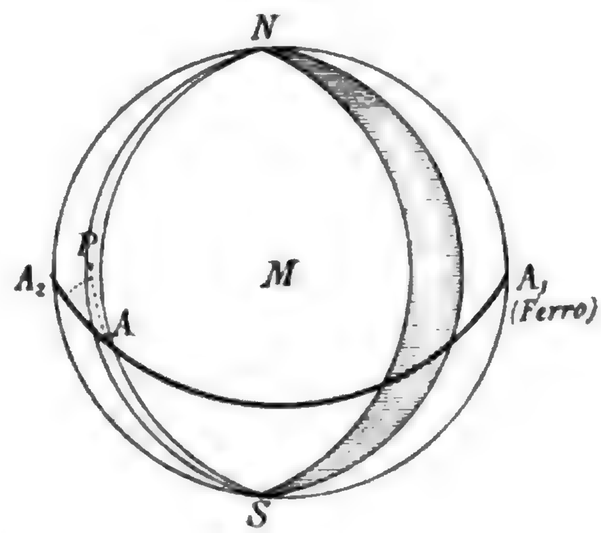
Versteht man unter h den Abstand eines Geoidpunktes vom zugeordneten Sphäroid, unter γ die Komponente der Schwere für den nämlichen Punkt, unter g die wirklich zu ermittelnde Schwere und unter ε den Winkel, welchen die Richtungen von γ und g mit einander einschliessen, so ist

$$h = \frac{U - W}{\gamma \cos \varepsilon}.$$

Die Differenz (U — W) liefert also, wenn man von einem konstanten Faktor absieht, das Maass für die Hebungen und Senkungen des Geoids gegenüber jener Sphäroidalfläche, welcher der gleiche Potentialwerth zukommt. „Die grössten Beträge von h werden von denjenigen Unregelmässigkeiten der Massenvertheilung herrühren, welche durch den Gegensatz von Kontinent und Ocean repräsentirt werden; den Oceanen werden Einsenkungen, den Kontinenten Erhebungen des Geoids entsprechen" [43].

§. 8. **Schematische Berechnung extremer Werthe von h.** Um feste Anhaltspunkte zu gewinnen, denkt sich Bruns den Erdkern als eine homogene Kugel vom Radius a und vom spezifischen Gewichte $d = 5{,}55$ und ersetzt Oceane wie Festländer durch unendlich dünne Massenbelegungen von denselben Umrissen; deren Belegungen haben bezüglich die Eigengewichte $d_1 H_1$ ($d_1 = -1{,}5$), $d_2 H_2$ ($d_2 = 2{,}5$), wo H_1 und H_2 die mittlere Tiefe der Weltmeere und die mittlere Höhe des Festlandes vorstellen. Auf der östlichen Halbkugel gleichen sich die Wirkungen beider Arten von Belegungen fast gänzlich aus, und so mag erstere bei der jetzt anzustellenden Schätzung ausser Betracht bleiben. Fig. 32 stellt die westliche Halbkugel dar; N ist der Nord-, S der Südpol, M das Erdcentrum, A_1 und A_2 sind die beiden Aequatorpunkte, denen die Längen 0° und 180° entsprechen. Es genügt dann, als mit Festlandmasse bedeckt einen (in der Figur gestrichelten) Kugelstreifen anzusehen, dessen Grenzmeridiane 30° und 75° geographische Länge haben. Es gilt nun, das Potential eines homogenen Kugelzweieckes N S auf den Punkt A auszumitteln, in welchem einer seiner Grenzmeridiane den Aequator $A_1 A_2$ trifft. P sei ein Punkt im Inneren jenes Streifens, und es sei ferner arc $AP = w$, $\sphericalangle PAA_2 = \psi$, DH die Masse. Erkennt man dem Punkt A die Länge l zu, so ist für ihn das gesuchte Potential

Fig. 32.



$$\Omega_{(l)} = \frac{a^2}{2a} \int\!\!\int \frac{D\,H \sin w\, d w\, d\psi}{\sin \frac{1}{2} w},$$

wobei sich das Integral über das ganze Zweieck auszudehnen hat. Nach w ist eine geschlossene Integration möglich; führt man diese

aus und setzt sodann mit **Bruns** [44] tang w_1 = tang l sec ψ, so wird schliesslich

$$\Omega_{(1)} = 2\,a\,D\,H \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin\frac{1}{2}\,w_1\,d\,\psi.$$

Hier liegt nun ein verwickeltes elliptisches Integral vor, dessen Werthbestimmung unser Autor mittelst mechanischer Quadratur ermöglicht. Für $l = 125^0$ fand sich $h = 1384$ m, für $l = 10^0$ fand sich $h = 1078$ m: es kommen somit beim wirklichen Erdkörper Ausbiegungen des Geoides gegen das zugeordnete Sphäroid vor, welche 1000 m erreichen, wo nicht übersteigen. Diese Quantität ist aber um ein Namhaftes grösser, als die aus den Polhöhenfehlern abgeleiteten Fehler der Halbaxen des „wahrscheinlichsten“ Erdellipsoides. Man kann jetzt auch zahlenmässig den Nachweis für die uns aus §. 3 und 4 bekannte Thatsache erbringen, dass der Gegensatz zwischen Land und Wasser beträchtliche Lothablenkungen hervorruft, welche bei den Gradmessungen, wenn diese sich über sehr grosse Bögen erstreckten, gerade nicht mit Nothwendigkeit hervorzutreten brauchten. Entsprechen doch beispielsweise den Werthen $l = 60^0$ und $l = 280^0$ die fast ganz gleichen Werthe $h = 531$ m und $h = 511$ m, während andere Punkte derselben Strecke nennenswerthe Abweichungen darbieten.

Oben sahen wir schon, dass der Unterschied zwischen Geoid und Sphäroid den Gang einer Pendeluhr zu beeinflussen vermag. Bedeutet im Gegensatze zum obigen γ die Grösse γ' die nach der Formel $(p + q \sin^2 \text{lat.})$ berechnete Schwere, so gilt näherungsweise die Proportion $3\,h : 2\,a = (g - \gamma') : \gamma$. Es ist aber der Ausdruck

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{3\,h}{2\,a} \cdot 86400^s = \frac{h}{a} \cdot 64700^s$$

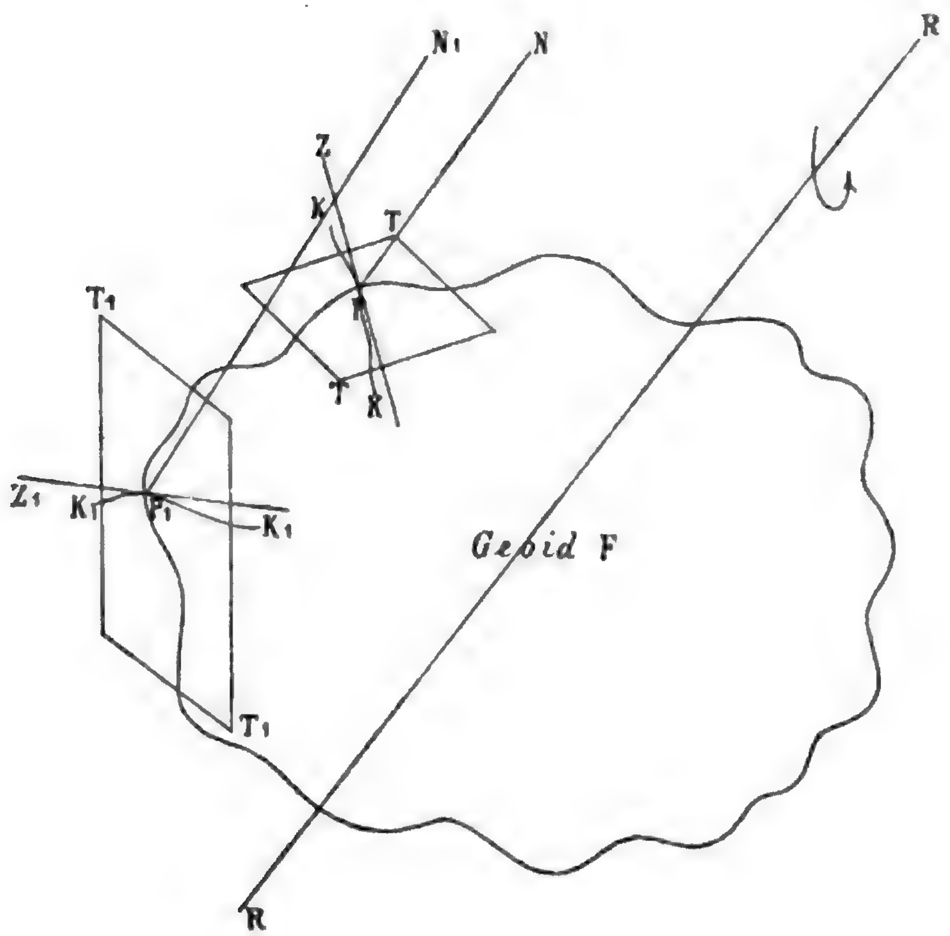
für $h = 1000$ m in den Werth $10{,}2^s$ übergegangen, und eine solche Zeitdifferenz ist wahrlich schon fühlbar genug.

§. 9. **Festlegung des Geoides gegenüber dem Sphäroid.** §. 7 lehrte uns bereits, dass der Versuch, analytische Formeln für die Geoidfläche erhalten zu wollen, ein ganz aussichtsloser ist. Was man wirklich anzustreben hat, das ist nach **Bruns** erstens ein Koordinatenverzeichniss für möglichst viele Punkte eines und desselben, wenn auch sonst willkürlichen Geoides sammt den zugehörigen Werthen von W und g und sodann zweitens eine graphische Darstellung, die so wenig, wie irgend eine der bei topographischen Aufnahmen sich ergebenden Linien einer Uebersetzung in die Sprache der Koordinatengeometrie fähig zu sein braucht. Die Frage ist nur: Lässt sich die hiemit umschriebene Aufgabe ohne Beiziehung von Hypothesen mit einem relativen Maximum von Exaktheit lösen? Wäre dem nicht so, dann müsste man freilich trotz all' ihrer Unvollkommenheit zur analytischen Darstellung seine Zuflucht nehmen. Zum wenigsten möglich ist aber eine solche Lösung und zwar dann, wenn drei unter sich völlig verschiedene Operationen ineinandergreifen, von denen bislang jeder einzelnen die Kraft irrig zugeschrieben wurde, welche sie nur im engsten Vereine zu entfalten im Stande sind. Es ist diese Entdeckung, welche wir eben

Bruns verdanken, eine um so wichtigere, als unsere Vorstellungen von dem, was wir bisher unter Gradmessungsarbeit verstanden, mancherlei Abänderungen erfahren. Die drei Methoden, welche in ihrer Kombination zum Ziele führen, sind folgende: Die astronomisch-trigonometrische Messung, das geodätische Nivellement, und die Bestimmung der Pendelschwere; jedes Verfahren muss für sich besprochen werden.

I. **Die astronomisch-trigonometrische Messung.** P und P_1 (Fig. 33) seien zwei beliebige Punkte der Geoidfläche F, K K und $K_1 K_1$ die

Fig. 33.



diesen Punkten entsprechenden Kraftlinien, deren Tangenten verlängert durch die Zenitalpunkte Z und Z_1 von P und P_1 hindurchgehen würden. Zieht man P N und $P_1 N_1$ parallel der Rotationsaxe R R, so zeigen beide Gerade nach dem (unendlich entfernten) Nordpol des Himmels hin; die $\sphericalangle$ N P Z und $N_1 P_1 Z_1$ ergänzen die astronomischen Polhöhen der beiden Orte zu neunzig Grad. Will man die scheinbaren Horizonte haben, so lege man in P und P_1 je eine Berührungsebene T T und $T_1 T_1$ an F. Als astronomische Meridiane haben die Ebenen N P Z und $N_1 P_1 Z_1$ zu gelten. $\sphericalangle$ Z P P_1 ist die astronomische Zenitdistanz der zwei Punkte, der von den Ebenen Z P N und Z P P_1 gebildete Winkel liefert das Azimut von P_1 für P, und der von den Ebenen Z P N und $Z_1 P_1 N_1$ gebildete Winkel ist der Unterschied der geographischen Längen. Alle diese Winkelgrössen sind einer direkten Messung fähig.

Messungen dieser Art setzen uns in Verbindung mit den Basismessungen in den Stand, ein Polyeder im Raume abzugrenzen, von welchem Gestalt und Grösse der einzelnen Seitenflächen genau be-

stimmbar sind, ebenso die Winkel, welche die einzelnen Seitenflächen mit der Drehungsaxe bilden. Wie weit dagegen diese Fundamentallinie von den einzelnen Kanten und Ecken entfernt ist, darüber vermag der bis jetzt betretene Weg keine Klarheit zu liefern, man müsste denn irgend eine neue Hypothese zu Hülfe nehmen. Letzteres ist denn auch bei allen Gradmessungen geschehen, insoferne deren Berechner dem Geoid ein bestimmtes Umdrehungsellipsoid substituirten. Man projicirte die einzelnen Stationspunkte auf dieses Ellipsoid und erhielt dadurch auf dessen Oberfläche ein System geodätischer Dreiecke, welche nach bekannten Regeln berechnet wurden. Der Grösse nach wichen die Ellipsoide, die bei verschiedenen Gradmessungen benützt wurden, nicht von einander ab, wohl aber der Lage nach, und daran allein hielt man fest, dass der Schwerpunkt stets die nämliche Lage im Raume beibehielt. Diese Annahme ist zwar von Hause aus keine in sich begründete, doch zeigt die Uebereinstimmung zwischen Berechnung und Beobachtung bei allen von der Mondparallaxe abhängigen Erscheinungen, dass die Annahme erlaubt war. Freilich aber kann es doch geschehen, dass der Einklang der durch verschiedene Gradmessungen für die Dimensionen des Erdsphäroides gefundenen Zahlen noch keine volle Gewähr der Richtigkeit liefert, weil ja ganz eigenthümliche Kompensationen der Lothablenkungsfehler im Bereiche der Möglichkeit gelegen sind — man denke an Das, was Ph. Fischer (§. 5) für die ostindischen Messungen festgestellt hat. Die astronomisch-trigonometrische Vermessungsarbeit fixirt also — und mehr von ihr zu verlangen, wäre unvernünftig — die Gestalt des Gradmessungspolyeders sammt dem zugehörigen Vertikalensysteme, sowie dessen Orientirung gegen die Erdaxe. Der Abstand der Eckpunkte von dieser Geraden ist vorläufig nicht zu bestimmen.

II. **Das geometrische Nivellement.** Die übliche wissenschaftliche Redeweise pflegt nicht zwischen Meereshöhenunterschied und Niveaudifferenz zu unterscheiden, doch sind die beiden Ausdrücke strenge genommen keine synonymen. Wählt man irgend ein Geoid der die Erdrinde bildenden Schaar als Meeresspiegel und fällt aus irgend einem anderen Punkte der Erdrinde auf ersteres eine Normale, so stellt die Länge dieser Normale die Meereshöhe fraglichen Punktes vor, und der geometrische Ort aller Punkte von gleicher Meereshöhe ist eine Parallelfläche zum Geoid. Wären also die einzelnen Geoide Parallelflächen, so wäre der erwähnte Unterschied nicht vorhanden, allein bereits §. 2 dieses Kapitels warnte vor der Täuschung, die Niveauflächen als allenthalben gleichabständig anzunehmen. Wohl aber ist die Niveaudifferenz zweier homologer Punkte auf zwei verschiedenen Graden durchaus konstant, nur wird dieselbe nicht geometrisch, sondern durch die Differenz der Werthe gemessen, welche die Kräftefunktion W in beiden Punkten annimmt. Bruns beweist nun folgenden Lehrsatz [45]: Multiplicirt man die Differenz der Lattenablesungen mit der zu der Station gehörigen Schwere und summirt diese Produkte für die ganze in Betracht kommende Strecke s, d. h. bildet man das Integral $\int g\, dh$, so ist das Ergebniss einzig von der Lage der Endpunkte der Strecke s abhängig und identisch mit der Niveaudifferenz dieser Endpunkte. Diese wichtige Grösse fliesst also bei richtiger Reduktion

direkt aus den Angaben der Nivellirinstrumente. Sind endlich W_1 und W_2 die Spezialwerthe von W in den nämlichen Punkten, während g_1 einen bestimmten Mittelwerth aus den Werthen von g längs h darstellt, so ist die Meereshöhe $= \frac{1}{g_1}(W_1 - W_2)$.

Das geometrische Nivellement ergänzt sonach das trigonometrische, welch' letzteres mit diesem wenig passenden Namen besser gar nicht bezeichnet würde, und zwar besteht diese Ergänzung in Folgendem. Legt man durch einen der eben fixirten Polyederpunkte das übliche Erdellipsoid, so kann astronomisch-trigonometrisch die Vertikaldistanz eines jeden der übrigen Eckpunkte von jenem Ellipsoid bestimmt werden, während das Nivellement analog die Vertikaldistanz vom Geoid ergiebt. Die Differenz beider Distanzen giebt hiernach die Entfernung beliebig vieler Ellipsoidpunkte von den zugeordneten Geoidpunkten, und darauf kommt es ja in letzter Linie hauptsächlich an.

III. Die Schweremessung. Der Umstand, dass in die obige Nivellirungsformel auch die Grösse g_1 eingieng, belehrt uns darüber, dass dem Nivellement Schweremessungen stets zur Seite gehen müssen. Die direkt durch Beobachtungen erhältliche Pendelschwere ist nichts anderes als der Differentialquotient $dW : dn$. Ein seiner theoretischen Grundlage nach zur Verfolgung der Aenderungen dieser Grösse trefflich sich eignendes Instrument wäre auch der Seetiefenmesser von William Siemens, über welchen das von der Bathometrie handelnde Kapitel Näheres beibringen wird; nur ist man bei Anwendung dieses Apparates allerdings gezwungen, aus dem äusseren Potential eines Körpers, nämlich der Erde, auf dessen innere Massenanordnung einen nicht sicheren Schluss zu machen.

§. 10. **Geodätische Konsequenzen der Lehre vom Geoid.** Dieser Konsequenzen giebt es gar mancherlei, wenn die Wissenschaft sich nicht gegen die Resultate der neuesten Forschung ablehnend verhalten, sondern von diesen auch für ihre praktischen Aufgaben den richtigen Nutzen ziehen will. Nur einzelne Punkte können natürlich hier in aller Kürze ihre Erörterung finden. Wenn z. B. Oudemans [46] bei Diskussion der in geodätischen Kreisen neuerdings vielfach ventilirten Frage, ob beim „Nivelliren aus der Mitte“ die ungleiche Krümmung der Niveaufläche nach den beiden Endpunkten hin einen Einfluss auf die Höhendifferenz dieser Zielpunkte ausübe, den Erdmeridian als reguläre Ellipse auffasst und so nur einen verschwindenden Schlussfehler herausrechnet, so lässt er eben die geoidischen Unregelmässigkeiten ausser Acht. Zachariae, Wittstein und Helmert betheiligten sich an dieser Debatte, deren Ende uns durch den Letztgenannten herbeigeführt worden zu sein scheint, indem er — völlig im Einklange mit Bruns (s. o.) — als Höhenunterschied zweier Orte A und B die Differenz zwischen den Potentialwerthen der durch A und B gehenden Niveauflächen definirte und diese Differenz dem linearen Normalabstand beider Flächen, multiplicirt mit der Schwere, gleichsetzte [47].

Auch die bisherige Praxis der Gradmessungsarbeiten wird der Bruns'schen Abhandlung mancherlei neue Direktiven zu entnehmen haben. So wird z. B. von Metzger [48] betont, dass die mit Auf-

gebot aller Mittel in's Werk gesetzte Gradmessung auf den hinterindischen Inseln trotzdem ihren Zweck verfehlt habe, weil neben den mit besonderem Fleisse ausgeführten astronomisch-trigonometrischen Bestimmungen das Nivellement und die Pendelbeobachtung keinen Platz im Programm finden konnte. Wichtiger als ausgedehnte Basismessungen und Triangulationen erscheint zur Zeit die Vornahme spezieller Präcisionsnivellements in den einzelnen Ländern; solche sind namentlich in Bayern vorgenommen worden, und der Leiter dieser Operationen, v. Bauernfeind, hat dieselben in einer Reihe von Publikationen beschrieben [49]; die vierte dieser Publikationen enthält auch [50] ein neues Verfahren zur Ausgleichung polygonaler Schlussfehler, welches, obwohl weit einfacher als die Methode der kleinsten Quadrate, gleichwohl fast die nämliche Genauigkeit erzielen lässt.

Bruns selbst kennzeichnet die Zukunftsideen der Gradmessung, wenn dieser Ausdruck gestattet ist, etwa in folgender Weise. Durch Zusammengreifen der drei uns bekannten Gattungen von Operationen ist zu ermitteln die Gestalt der Geoide, deren Orientirung gegen die Erdaxe und, bis auf eine Konstante, die Kräftefunktion W. Diese Konstante, und zugleich die Lage des Erdschwerpunktes, wäre zu ermitteln, wenn sich eine Dreiecksmessung rings um die ganze Erde herum durchführen liesse, was freilich an äusseren Gründen scheitert. Jedenfalls ist zunächst die Frage zu beantworten, ob die europäische Gradmessung (Kap. I, §. 8) all' jene Data liefert, welche Bruns für seine Zwecke verlangt. Wie wir wissen, giebt es zwei Gruppen jener Data: die Basis- und Winkelmessungen zur Festlegung eines Erdpolyeders und die Nivellements und Schweremessungen, von welchen die Kenntniss der Meereshöhen und Niveaudifferenzen abhängt. Für die zweite Gruppe ist bereits ausreichend gesorgt, zumal, wenn das Siemens'sche Bathometer sich als verwendbar erweist. Die erste Gruppe anlangend muss dagegen, wenn der Verlauf der Lothablenkungen genau erforscht werden soll, für jeden Ort sowohl Polhöhe als auch Azimut bestimmt werden — eine freilich weitgehende Forderung, die nicht weniger verlangt, als dass jede Station zu einem Hauptdreieckspunkt erhoben werden müsste, die aber doch unerlässlich ist, wenn der Endzweck erreicht werden soll. Sehr hinderlich wird sich dabei besonders auch unsere unvollkommene Kenntniss der irdischen Strahlenbrechung erweisen. Kurz, es steht noch Ungeheures zu leisten bevor: „die ganze auf Grund der ellipsoidischen Hypothese bereits geleistete und noch zu leistende Rechnungsarbeit," sagt Bruns [51], „ist als Vorbereitung für die strenge Lösung unentbehrlich, aber was bisher als definitives, die Gradmessungsoperationen abschliessendes Ergebniss angesehen wurde, das hat von den hier entwickelten Gesichtspunkten aus lediglich den Charakter einer nothwendigen Vorarbeit. Die strenge Lösung beginnt erst da, wo man bei der bisherigen Auffassung die Aufgabe bereits als erledigt ansah." Bruns zeigt dann noch, wie vermittelst der Wahrscheinlichkeitsrechnung zuerst die Niveaudifferenzen, sodann die Azimute und schliesslich die Zenitdistanzen ihre Ausgleichung finden, und wie damit die relativ beste Form für das allen Beobachtungen entsprechende Erdpolyeder gefunden wird. „Trägt man die durch das geometrische Nivellement und die Schweremessungen gefundenen Meereshöhen auf den Vertikalen von den

Polyederecken aus ab, so kennt man damit die Koordinaten der den einzelnen Stationen entsprechenden Punkte eines bestimmten Geoides. Diese Punkte bilden ein Netz von Geoidpunkten erster Ordnung, welches dann als Grundlage für die Einschaltung beliebig vieler neuer Punkte mittelst trigonometrischer Messungen und geometrischer Nivellements dient" [52].

Detaillirte Nachweisungen über die Art und Weise, wie man eine dem Geoid sich möglichst enge anschliessende ellipsoidische **Referenzfläche** erhalten kann, findet man in dem ausgezeichneten Werke von **Helmert** [53].

[1] Gerlach, Die Bestimmung der Gestalt und Grösse der Erde, Wien 1782. S. 36. — [2] Walbeck, Dissertatio de forma et magnitudine telluris ex dimensionis arcubus meridianis definiendis, Aboae 1819. — [3] Santini, Delle recenti ricerche intorno alla vera figura della terra dedotta dalle principali misure de' suoi meridiani, Mem. del R. Istit. Ven., Vol. XL. S. 219 ff. — [4] Ph. Arena, Dissertatio geographica de dimensione et figura telluris, Panormi 1757. S. 21. — [5] Gauss, Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona, Göttingen 1828. — [6] Bessel, Ueber den Einfluss der Unregelmässigkeit der Figur der Erde auf geodätische Arbeiten, Astr. Nachr. 14. Band. S. 269. — [7] Dahlander, Ueber den Einfluss, den die Unebenheiten der Erdoberfläche auf das Niveau des Meeres üben, Ann. d. Phys. u. Chem., 117. Band. S. 148 ff. — [8] Hann, Ueber gewisse beträchtliche Unregelmässigkeiten des Meeres-Niveau's, Gaea, 12. Jahrgang. S. 140. — [9] G. Darwin, On the mechanical effects of barometrical pressure on the earth's surface, Phil. Mag., 1882. S. 409 ff. — [10] Saigey, Petite physique du globe, tome II, Paris 1842. S. 137. — [11] Hann, Ueber gewisse etc. S. 138 ff. — [12] Borenius, Ueber die Berechnung der mit dem unveränderlichen Pendel zur Bestimmung der Abplattung der Erde angestellten Beobachtungen, St. Petersburg 1843. — [13] Bessel, Ueber Maass und Gewicht. Schumacher's astr. Jahrbuch, 1840. S. 134. — [14] A. v. Humboldt, Kosmos. 1. Band, Augsburg und Stuttgart 1845. S. 312. — [15] Rozet, Extrait d'un mémoire sur quelques-unes des irrégularités que présente la structure du globe terrestre, Bull. de la soc. géol. de France, tome XII. S. 176. — [16] Penck. Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882. S. 6. — [17] Stokes, On the variation of gravity at the surface of the earth, Cambridge 1849. — [18] Airy. On the attraction of mountains, Phil. Trans., Vol. CXLV. S. 101 ff. — [19] Zanotti-Bianco, Il problema meccanico della figura della terra esposto secondo i migliori autori, Parte I, Firenze-Torino-Roma 1880. S. 242 ff. — [20] Faye, Sur les variations séculaires de la figure mathématique de la terre, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XC. S. 1185 ff. — [21] Ph. Fischer, Untersuchungen über die Gestalt der Erde, Darmstadt 1868. S. VII. — [22] Ibid. S. 35 ff. — [23] Ibid. S. 70 ff. — [24] Ibid. S. 86. — [25] Ibid. S. 101. — [26] Ibid. S. 107 ff. — [27] Ibid. S. 194. — [28] Ibid. S. 212 ff. — [29] Pratt, On the attraction of the Himalaya Mountains, Phil. Trans., Vol. CXLV. S. 53 ff. — [30] Pratt, On the deflection of the plumb-line in India, caused by the attraction of the Himalaya Mountains, ibid. Vol. CXIX. S. 745 ff. — [31] Ph. Fischer, Untersuch. etc. S. 219 ff. — [32] Ibid. S. 317 ff. — [33] Listing, Ueber unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde, Nachr. v. d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen, 1873. S. 33 ff. — [34] Ibid. S. 88. — [35] Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, I. Band, 2. Theil, Braunschweig 1874. S. 343 ff. — [36] Ibid. S. 345. — [37] Bruns, Die Figur der Erde; ein Beitrag zur europäischen Gradmessung, Berlin 1876. — [38] Zech, Die europäische Gradmessung, Deutsche Revue, II. Jahrgang, 2. Band. S. 341 ff. — [39] Günther, Ueber die neuesten Bemühungen um schärfere Bestimmung der Erdgestalt, Verhandl. d. III. d. Geographentages, Berlin 1883. — [40] Bruns, Die Figur der Erde, S. 28. — [41] Recension zu Rohde, Mathematische Abhandlungen (Potsdam 1867), (Hindenburg's) Archiv f. d. reine u. angew. Mathem., 2. Band. S. 355. — [42] Zech, Die europ. Gradm., S. 346 ff. — [43] Bruns, Die Figur der Erde, S. 17 ff. — [44] Ibid. S. 23. — [45] Ibid. S. 34 ff. — [46] Oudemans, Ueber den Schlussfehler wegen

der sphäroidalen Gestalt der Erde, Astr. Nachr. (2) N. 83. — [47] Helmert, Zur Theorie des geometrischen Nivellirens, ibid. (2) N. 81. — [48] Metzger, Beiträge zur Kartographie von Niederländisch-Ostindien, speziell von Java, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 186. — [49] v. Bauernfeind, Das bayrische Präcisions-Nivellement, 1. Mittheil. München 1870; 2. Mittheil. ibid. 1872; 3. Mittheil. ibid. 1874; 4. Mittheil. ibid. 1876; 5. Mittheil. ibid. 1879; 6. Mittheil. ibid. 1883. — [50] Ibid. 4. Mittheil. S. 40 ff. — [51] Bruns, Die Figur der Erde, S. 47. — [52] Ibid. S. 49. — [53] Helmert, Die mathematischen und physikalischen Theorieen der höheren Geodäsie, 1. Theil, Leipzig 1881. S. 564 ff.

Kapitel IV.

Die Bewegung der Erde im Raume.

§. 1. **Die Axendrehung.** Nachdem wir in den drei vorangehenden Kapiteln über die Gestalt unseres Erdkörpers zur Klarheit gelangt sind, liegt uns die weitere Pflicht ob, die Bewegungsverhältnisse desselben zu betrachten, welche sich in mehr denn einer Beziehung als für die Geophysik höchst bedeutsam erweisen. An erster Stelle zieht die Drehung der Erde um ihre Axe unsere Aufmerksamkeit auf sich. Der Augenschein spricht allerdings dafür, dass im Verlaufe eines sogenannten Sterntages die Himmelskugel mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die Weltaxe rotire, doch leuchtet ein, dass alle von dieser Rotationsbewegung abhängigen Erscheinungen ganz ebensowohl auch durch die Annahme erklärt werden können, die Erde drehe sich mit gleicher Geschwindigkeit und entgegengesetztem Drehsinn um eine Axe, deren Verlängerung nach beiden Seiten hin durch je einen der beiden Weltpole geht, während jene Punkte, in welchen diese Gerade die Erdoberfläche schneidet, die uns von früher her bekannten Erdpole repräsentiren. Einen wirklich strengen mathematischen Beweis für die Richtigkeit dieser letzteren Annahme zu erbringen war erst der allerneuesten Zeit vorbehalten, und wir dürfen es deshalb den Astronomen des Alterthums und des Mittelalters nicht allzusehr verargen, wenn sie bei der dem Sinneseindrucke entsprechenden Vorstellung verharrten, welcher das ptolemäische Weltsystem eine Art von Gesetzeskraft verlieh.

Doch war auch diese Regel keineswegs frei von zahlreichen Ausnahmen. Ob freilich der Aegyptologe Chabas Recht hat, wenn er die Anrede eines Unterthanen an den Pharao, „tu es le gouvernail de la terre entière; la terre navigue selon ta volonté“, auf die Erdbewegung deutet [1], möchten wir dahingestellt sein lassen. Auch die pythagoreische Schule lehrte nicht eigentlich das, was wir heutzutage unter Drehung der Erde verstehen; ihre Anschauung, wie sie namentlich durch Philolaos zum Ausdruck gebracht ward, hat für uns etwas sehr Befremdendes. Henri Martin [2] und Schiaparelli [3], welch' letzterer sich um die antike Vorgeschichte der coppernicanischen Weltordnung ein unvergängliches Verdienst erwarb, gehen betreffs des Philolaos von ganz verschiedener Grundlage aus und gelangen doch zu dem nämlichen Ergebnisse. Alkmaion, der unmittelbarste Schüler des Pythagoras, formulirte den Satz, dass die Bewegung der Planeten

in entgegengesetztem Sinne wie diejenige der Fixsterne vor sich gehe [4], und damit ist wohl ausgesagt, dass man in jener frühen Zeit die Erde noch als ruhend gelten liess. Philoloas führte, wie Boeckh zuerst klarstellte [5], die sogenannte Gegenerde (Antichthon) ein, welche ebensogut wie die Sonne, der Mond, die Planeten und die Erde, nur in geringerer Entfernung als diese, um das im Centrum der Welt befindliche Centralfeuer kreise, so zwar, dass beide Weltkörper dem letzteren — wie der Mond der Erde — stets die nämliche Seite zuwendeten. Sehr viel ist über Platon's Stellung zur Rotationsfrage geschrieben worden, wie aus den vergleichenden Zusammenstellungen von Shiaparelli [6] und Heller [7] hervorgeht; namentlich durch Grote [8] dürfte eine Entscheidung in dem Sinne herbeigeführt worden sein, dass im „Timaios" die Umdrehung der Erde um ihre Axe als Mittel zur Erklärung der himmlischen Phänomene in Anwendung zu bringen versucht wurde. Unzweideutig erklärte sich in diesem Sinne zuerst der Platoniker Herakleides Pontikos [9], und ein Gleiches wird von Hiketas und Ekphantos, zwei Syrakusanern, berichtet [10]. In die Fussstapfen des Herakleides trat Aristarch von Samos [11], der jedoch, wie wir später sehen, nicht bei der Axendrehung stehen blieb, sondern auch die Fortbewegung der Erde behauptete. Auch im fernen Indien hatte die erstere Lehrmeinung ihre Anhänger, die Kommentatoren Brahmagupta und Chaturveda bezeugen ausdrücklich [12], dass der berühmte Aryabhatta (etwa um 500 n. Chr.) einen Luftstrom angenommen habe, der sich um die Erdkugel herumbewege und diese zwinge, mit einer Minutengeschwindigkeit von 1 „Prana" sich um ihre Axe zu drehen. Selbst im Mittelalter fehlt es nicht an Männern, die wenigstens eine Ahnung davon haben, dass der Wechsel von Tag und Nacht einer anderen Ursache zuzuschreiben sein könne, als dem Umschwung des Himmelsgewölbes. So erwähnt der Kirchenvater Origenes des Ekphantos [13], und der Scholastiker Thomas Aquinas zeigt sich mit den Ansichten des Herakleides und Aristarchos vertraut [14], ja der Kardinal Nikolaus von Cusa stellte sogar eine neue, eigenthümliche Rotationstheorie auf, deren Kern nach früher vom Verf. dieses gegebenen Aufklärungen [15] dahin zu präcisiren ist: I. Die Erde dreht sich in 24 Stunden von Ost nach West um ihre mit derjenigen der Welt zusammenfallende Axe. II. Gleichzeitig wird sie von der achten Sphäre, welche sich im entgegengesetzten Sinne, aber mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit um dieselbe Axe dreht, mit fortgenommen. III. Die Sonne nimmt an dem letztgenannten Umschwung Theil, aber mit einer Verlangsamung, welche im Laufe eines Jahres auf 360° anwächst. Auch einzelne Araber wichen in diesem Punkte von der hergebrachten Doktrin ab, so Ibn el Wardi [16], und wenn auch Katibi (um 1272) diese Neuerung in eingehender Weise kritisirt und verurtheilt [17], so scheint doch eben hieraus hervorzugehen, dass ein guter Grund zu dieser Bekämpfung vorlag. In dem kabbalistischen Buche Sohar findet sich ein merkwürdiger Passus, der in Wackerbarth's Version folgendermassen lautet [18]: „Obiges wird deutlicher im Buche Rabbi Hamnuna's des Aelteren erklärt, dass nämlich die Erde wie eine Kugel im Kreise sich um sich selber dreht, und dass die einen oben, die anderen unten sind. All' diese Menschen sind unter dem Einflusse verschiedener Klimate verschieden

gestaltet, stehen aber alle aufrecht. So giebt es Orte auf der Erde, wo die Einen Licht und Tag haben, während für die Anderen Finsterniss und Nacht besteht, ja es giebt einen Platz, wo immer Tag und nur für eine kurze Frist Nacht ist."

Man sieht, völlig unbereitet ist des Coppernicus Reform nicht in die Welt getreten. Kurz vor diesem Zeitpunkte machten Tallavia [19] und Lionardo da Vinci [20] dahin zielende Andeutungen, während allerdings die hie und da laut gewordene Behauptung, auch Regiomontan habe sich in diesem Sinne ausgesprochen, mit der Wahrheit in Widerspruch steht [21]. Hingegen unterliegt es keinem Zweifel, dass Celio Calcagnini (1479—1541) seinen Traktat „de perenni motu terrae", den Hipler nach den Quellen edirt [22] und Schlüter in's Deutsche übertragen hat [23], geraume Zeit vor dem Erscheinen von Coppernic's Hauptwerk abgefasst hatte. Freilich hat Prowe [24] es sehr wahrscheinlich gemacht, dass Coppernicus und Calcagnini Anno 1503 zu Ferrara freundschaftlichen Umgang mit einander pflogen, wobei die Gedanken des Einen wohl befruchtend auf den Anderen eingewirkt haben mögen. Jedenfalls begann der deutsche Forscher bald nachher, im Jahre 1506, mit der Aufzeichnung der kosmischen Vorstellungen, durch welche er die ptolemäisch-aristotelischen zu verdrängen gedachte [25]. Jedoch verzögerte sich eine endgültige Ausarbeitung zum Druck bis 1543, obgleich schon früher unter dem Titel „Commentariolus de hypothesibus motuum caelestium" eine Zusammenstellung der wichtigeren Sätze von dem Autor gegeben worden war; Tycho Brahe kannte dieselbe wohl, allein später verlor man diese Schrift völlig aus den Augen, und Curtze musste sie erst förmlich wieder entdecken [26].

Ihren Abschluss erhielt, wie schon bemerkt, die neue Lehre durch das gerade noch vor dem Tode des Verfassers rechtzeitig erschienene grosse Hauptwerk des Coppernicus: De revolutionibus corporum coelestium. Wir beziehen uns im Folgenden auf Menzzer's anerkennenswerthe deutsche Bearbeitung dieses Werkes [27]. Für uns hier sind von besonderer Wichtigkeit die Kapitel 5 bis 8 des ersten Buches. Im fünften Kapitel erörtert der Autor, und zwar mit Bezug auf einzelne der in diesem Paragraphen bereits angeführten Stellen älterer Schriftsteller, die Möglichkeit einer „kreisförmigen Bewegung der Erde"; im sechsten stellt er der Unermesslichkeit der Himmelsräume die winzige Kleinheit der Erdkugel gegenüber*); im siebenten bespricht er die von den Alten für die Ruhe unseres Wohnkörpers beigebrachten Beweise, und im achten widerlegt er dieselben mit Ruhe und Sachlichkeit. Eigentlich durchschlagende Gründe für seine eigene Be-

*) Es waren besonders diese Ausführungen, welche dem Coppernicus die Gegnerschaft protestantischer Theologen, vor Allem Melanchthon's zuzogen. Luther selbst, der von gelehrten Schrullen weit weniger eingenommen war, als sein Mitarbeiter, kümmerte sich nicht viel um die mit der heliocentrischen Reform freilich unlöslich verknüpfte Degradirung des Erdkörpers, wie er denn beispielsweise einmal sagte [28]: „Ich gläube, dass ein Stern grösser ist, denn die ganze Welt." Um so weniger freilich behagte seiner naiven Weltanschauung die Umdrehung des „Erdreiches", dass „die Erde beweget würde und nicht der Himmel" [29] Theologische Einwendungen scheinen dem Reformator auf religiösem Gebiete jedoch ebenso ferne gelegen zu haben, wie sie dem weitaus grössten Theile der katholischen Gottesgelehrten anfänglich lagen.

hauptung ist er freilich (s. o.) noch nicht anzugeben im Stande und begnügt sich deshalb mit dem seine edle Bescheidenheit trefflich kennzeichnenden Schlussworte [30]: „Man sieht also, dass aus allem Diesem die Bewegung der Erde wahrscheinlicher ist, als ihre Ruhe, zumal in Bezug auf die tägliche Umdrehung, welche der Erde am eigenthümlichsten ist."

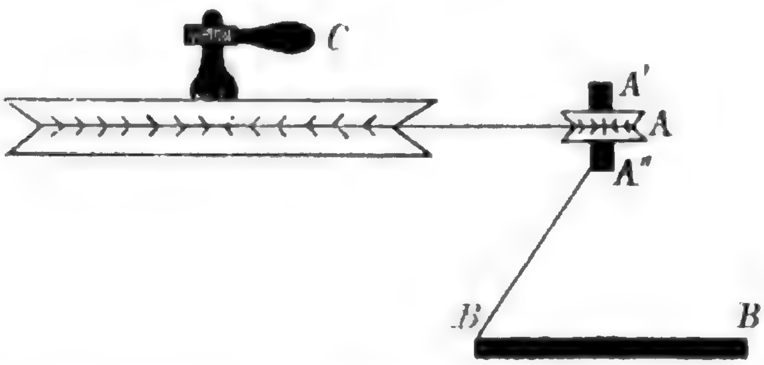
Im Verlaufe des XVI. Jahrhunderts gewann die neue Lehre nicht eben weiten Boden. Von Tycho Brahe z. B. muss leider gesagt werden, dass er in seinen Briefen an Rothmann die absurdesten Gegengründe geltend machte [31], wie etwa den, ein auffliegender Vogel werde das rasch unter ihm wegbewegte Nest nicht wiederfinden; noch 100 Jahre später weiss Riccioli den 49 für Coppernicus sprechenden Argumenten 77 gegentheilige gegenüberzustellen [32] — vielleicht freilich nur deshalb, um nicht mit der pflichtmässigen Astronomie seines, des Jesuiten-Ordens, in Konflikt zu gerathen [33]. Bemerkt zu werden verdient, dass der ungeheure Vortheil, der auch nur unter dem Utilitätsgesichtspunkte in der Annahme einer sich drehenden Erde liegt, von einer Reihe Gelehrter wohl beherzigt wurde, die im Uebrigen Bedenken trugen, dem kühnen Gedankenfluge Coppernic's sich anzuvertrauen. Dahin gehören Reimarus Ursus und Longomontanus [34], insbesondere aber auch Origanus, der in der Einleitung zu seinen Ephemeriden von 1609 sich unumwunden dahin ausspricht [35], die Erdkugel nehme zwar die Mitte der Welt ein, drehe sich aber um ihre Axe und verursache so die Erscheinung der täglichen Himmelsbewegung.

§. 2. **Unveränderlichkeit der Rotationsaxe und Rotationsdauer.** Nachdem man einmal wusste, dass die Erde sich um ihre Axe drehe, warf man die weitere Frage auf, ob diese Umdrehungsaxe zu allen Zeiten ein und dieselbe gewesen sei. Die kosmogonischen Hypothesen, welche das XVIII. Jahrhundert im Ueberflusse lieferte, operirten mit Axenversetzungen ganz nach Belieben, indem sie dieselben durch den Anstoss anderer Himmelskörper erklärten (Buffon, Klee, Boucheporn u. A.). Eine ausführliche Widerlegung dieser mehr oder minder absurden Theorieen ist in Mädler's Aufsatz „Die Erdaxe" zu finden [36], auch hatte schon vor längerer Zeit Bode die Zulässigkeit solch' gewaltsamer Umänderungen der Erdaxenlage bestritten und behauptet, die Erdpole hätten „ihre schicklichste Lage" inne [37]. Dagegen hat neuerdings wieder Stark diesen Deus ex machina herbeigerufen [38], um für gewisse geologische Veränderungen verwerthet zu werden. Ihm zufolge umgiebt die Erdkruste freischwebend den sphärischen, aus geschmolzenen Massen bestehenden Erdkern; schlägt diese Flüssigkeit unter der Einwirkung irgend welchen Agens an die Innenfläche des festen Kugelringes, so bewirkt sie jene geologischen Störungen, und als das Hauptagens, von dem die Rede war, gilt eine Umsetzung der Erdaxe, die selbst wieder ihren Grund darin hat, dass die Gebirgsmassen einem aus der Centrifugalkraft resultirenden Tangentialschub Folge leisten. Man kann darüber streiten, ob bei dieser Auffassung der Erklärungsversuch leichter zu begreifen sei, als das zu erklärende Phänomen.

Es ist jedenfalls zu bedauern, dass solche Hypothesen von ihren Autoren gewöhnlich nicht mit denjenigen strenge mathematischen Hülfs-

mitteln geprüft zu werden pflegen, welche doch bereit vorliegen. Allerdings ist hierzu vorher völlige Einsicht in das Wesen einer Axenbewegung zu erlangen, und dass diese Einsicht nicht so ganz einfach ist, beweist schon der Umstand, dass sie dem Coppernicus fehlte. Erst die mit Galilei beginnende Vervollkommnung der theoretischen Mechanik hat uns in den Stand gesetzt, den fraglichen Bewegungsvorgang folgendermassen ganz allgemein zu interpretiren. Für jeden Punkt eines Körpers lassen sich im Allgemeinen drei freie Axen oder Hauptaxen angeben, um welche der Körper sich ganz in gleicher Weise dreht, sei es nun, dass die betreffende Axe in zwei Punkten festgehalten wird oder sich selbst parallel im Raume fortschreitet. Speziell von Bedeutung sind diese drei Axen dann, wenn sie im Schwerpunkte des Körpers senkrecht auf einander stehen. Das Trägheitsmoment jenes ist nämlich alsdann in Bezug auf die eine dieser Axen grösser, in Bezug auf eine zweite kleiner als in Bezug auf irgend eine andere den Schwerpunkt in sich schliessende Umdrehungsaxe. Die Fundamentaleigenschaft der dritten Hauptaxe lässt sich nicht mit so wenigen Worten definiren. Man lege eine Ebene (I,III) durch die erste und dritte, eine andere Ebene (II,III) durch die zweite und dritte Axe: dann ist das Trägheitsmoment hinsichtlich III kleiner als hinsichtlich einer in (I,III) liegenden und durch den Schwerpunkt gehenden Geraden und grösser als hinsichtlich jeder beliebigen in (II,III) liegenden und ebenfalls durch den Schwerpunkt gehenden Geraden. Wenn es sich um die praktische Ermittelung dieser freien Axen handelt, so kann man nach Gregory folgenden Weg einschlagen [39]. Man weiss, dass, sobald der Körper um eine dieser Axen rotirt, alle Centrifugalkräfte sich das Gleichgewicht halten, und begründet auf diese Thatsache die Einrichtung des in Fig. 34 abgebildeten Apparates. Das Rad C ertheilt

Fig. 34.



der Rolle A eine horizontale Drehbewegung; an der Axe A'A" wird ein Faden A"B befestigt, an welchem hinwiederum für's Erste ein Stab BB' aufgehängt sein möge. Sowie die Umdrehung beginnt, stellt sich dieser Stab horizontal ein, während A"B einen Kegelmantel beschreibt. Statt des Stabes kann jedoch ein Körper jedweder Art mit verschiedenen Punkten angeheftet werden, und es lassen sich so die Hauptträgheitsaxen direkt bestimmen.

Erleidet nun die Rotationsaxe der Erde irgendwie eine Ortsveränderung, so geschieht ein Gleiches mit den beiden anderen permanenten Axen. Auch der Schwerpunkt wird, wenn auch nicht unbedingt nothwendig, seinen Ort verändern, und so werden auch die Polhöhen und

Mittagsunterschiede der einzelnen Erdorte Variationen erfahren. Diese letzteren hat Bessel [40] zu schätzen gelehrt. Er bezeichnet durch β' und λ' die mittlere Breite und (geocentrische) Länge, deren Werth sich ergeben würde, wenn die Drehung um die veränderte Polarhauptaxe vor sich gienge, mit β und λ dagegen die ursprüngliche Breite und Länge — letzteren Winkelwerth von demjenigen Punkte des Aequators aus gerechnet, in welchem dieser von der Hauptaxe I geschnitten wird (Hauptaxe III ist die faktische Umdrehungsaxe). Versteht man ferner unter E und E′ die Ebenen der ursprünglichen und der neuen Hauptaxen, unter ϑ den von diesen Ebenen gebildeten Winkel, unter ψ die Länge des gemeinsamen Anfangspunktes der λ und λ', diessmal von dem aufsteigenden Knoten der E auf der E′ aus gezählt, so liefern die bekannten Transformationsformeln für Raumkoordinaten nachstehendes System:

$$\begin{aligned}\cos\beta'\cos(\lambda'+\psi) &= \cos\beta\cos(\lambda+\psi),\\ \cos\beta'\sin(\lambda'+\psi) &= \cos\beta\sin(\lambda+\psi)\cos\vartheta - \sin\beta\sin\vartheta,\\ \sin\beta' &= \cos\beta\sin(\lambda+\psi)\sin\vartheta + \sin\beta\cos\vartheta.\end{aligned}$$

Diese Gleichungen ermöglichen es, die neuen Koordinaten eines Ortes nach erfolgter Umsetzung der Erdaxe aus den alten zu berechnen. Bedeuten ferner A, B, C die drei Hauptträgheitsmomente der Erde, μ das Stück Masse, dessen Ortsveränderung die Transposition der Rotationsaxe nach sich zog, l, b; l′, b′ die geographischen Koordinaten der Orte, an welchen der Schwerpunkt von μ sich ursprünglich befand und sich nunmehr befindet, m endlich die Erdmasse, so gelten die weiteren Formeln:

$$\lambda' - \lambda = \frac{-\mu \tang \beta}{A+B-2C}\left[\sin 2b'\sin(l'-\lambda) - \sin 2b\sin(l-\lambda)\right],$$

$$\beta' - \beta = \frac{\mu}{A+B-2C}\left[\sin 2b'\cos(l'-\lambda) - \sin 2b\cos(l-\lambda)\right];$$

$A+B-2C$ ist dabei $= -(133\,m : 67\,626)$ zu nehmen. Hiernach ermittelt Bessel, dass, wenn die maassgebende Grösse

$$\mu : (A+B-2C)$$

auch nur 1″ betragen soll, das Gewicht der Masse μ einem Blocke von 114 geographischen Kubikmeilen entsprechen muss, dessen Eigengewicht demjenigen der Erde gleichkommt. Dieses Ergebniss zeigt recht deutlich, welch' minimalen Einfluss auf die Lage der Rotationsaxe die gewaltigsten geologischen Umwälzungen ausüben.

Weit sorgfältiger noch und mit Aufbietung der feinsten rechnerischen Hülfsmittel haben die von Bessel angeregte Frage zwei ausgezeichnete Mathematiker der Neuzeit behandelt, Gyldén [41], und G. Darwin [42], und zwar hat sich der erstere mehr auf den astronomischen Standpunkt gestellt, während Darwin vorwiegend die geodynamische Seite in Betracht zog. Diese Untersuchungen bestätigen im Wesentlichen unser früheres Resultat; selbst ein grossartiges geologisches Ereigniss, wie die Entstehung eines neuen Kontinentes, würde, solange dem Erdkörper der ihm gegenwärtig zukommende Grad von Festigkeit verbleibt, die kleinste Hauptaxe nur um 3 Grade aus ihrer Lage herauszudrehen vermögen. Früher, als diese gegenwärtige Kohäsionskraft noch nicht erreicht war, mag es sich anders verhalten haben, indess entziehen sich eben die damaligen Verhältnisse zu sehr unserer Kenntniss, als dass mit

denselben gerechnet werden könnte*). Die von Schmick theoretisch aus seiner bekannten Hypothese der Meeresumsetzung gefolgerten Aenderungen der Polhöhe sollen uns hier nicht näher beschäftigen, da sie mit der Hypothese selbst stehen und fallen, zur Besprechung dieser aber späterhin eine weit geeignetere Gelegenheit sich ergeben wird. Im 5. Bande der 2. Serie des „Geological Magazine" findet man eine interessante Diskussion, geführt zwischen Hill („On the possibility of changes in the earth's axis", S. 262 ff.) und Fisher („On the possibility of changes in the latitudes of places on the earth's surface", S. 291 ff., S. 551 ff.); dieselbe knüpft an die Frage nach dem eigentlichen Zustande des Erdinneren und damit an Gegenstände an, welche im zweiten Kapitel der nächsten Abtheilung ihre Erledigung finden werden. In England trägt man zur Zeit diesen Dingen ein lebhaftes Interesse entgegen, verliert sich aber auch wohl zuweilen in Abenteuerlichkeiten, wie z. B., wenn man die säkuläre Abnahme in der Intensität der Mondstrahlung mit der Versetzung der Erdaxe in Verbindung bringen wollte.

Wenn nun schon nach allem Vorhergehenden für eine irgend erhebliche Ablenkung der Erdaxe von einer früher eingenommenen Lage nur eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, so ist doch diejenige Wahrscheinlichkeit noch weit kleiner, welche für eine nachweisbare Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit anzuführen wäre, wenigstens insoweit es sich um historische Zeiten handelt. An und für sich sollte man eigentlich das Gegentheil glauben, denn zwei Momente scheinen gegen eine solche Konstanz zu sprechen. Im ersten Kapitel der ersten Abtheilung lernten wir die Erde als einen in stets fortschreitendem Erkaltungsprocesse befindliche Kugel kennen, und da mit jeder Erkaltung eine Zusammenziehung verbunden ist, so müsste der ein immer geringeres Volumen gewinnende Körper allmählig ein rascheres Tempo in seiner Umdrehung annehmen. Andererseits macht Robert Mayer [45] — man vergleiche den Abdruck seiner diesem Gegenstande gewidmeten Darlegung, begleitet von Zöllner's Bemerkungen, in dem Kometenwerke des Letzteren — darauf aufmerksam, dass die Fluthwelle eine retardirende Wirkung auf die Geschwindigkeit des Erdumschwunges ausüben müsse. Die Erde dreht sich von

---

*) Da, wie wir sahen, die geographischen Breiten unmittelbar von der Lage der Drehungsaxe abhängig sind, so können auch die ersteren so lange keiner — periodischen oder unperiodischen — Veränderung unterworfen sein, als die letztere unverrückt dem nämlichen Punkte der Himmelskugel zugewendet ist. Domenico Maria di Novara, der Lehrer des jungen Coppernicus, hatte, worüber Näheres bei Prowe [43] nachzulesen ist, die Behauptung aufgestellt, dass die Polhöhen seit der ptolemäischen Epoche stetig sich vergrösserten; Magini, Gilbert, Riccioli und Snellius nahmen von dieser Angabe Notiz, wenn auch nur theilweise in zustimmendem Sinne. Von Gilbert erfahren wir aber, dass auch die entgegengesetzte Ansicht ihre Anhänger hatte; was der berühmte Physiker hierüber mittheilt, hat den folgenden Wortlaut [44]: „Ita juxta has Dominici Mariae observationes polus Boreus altius elevatur et latitudines regionum majores existunt, quam olim; unde immutationem arguit latitudinum. Jam vero Stadius contraria prorsus opinione decrevisse latitudines per observationes probat." Novara glaubte sich freilich überzeugt halten zu dürfen, dass seine Messungen sehr genau seien, die Neuzeit jedoch vermochte die von ihm aus dem Vergleiche mit Hipparch und Ptolemäus gezogenen Differenzen einfach auf Beobachtungsfehler zurückzuführen.

West nach Ost, während die dem scheinbaren Laufe der Gestirne folgende Mond- und Sonnenfluthwelle von Ost nach West um die Erde herumkreist. Sie schlägt somit unaufhörlich an die Ostränder der Kontinente und trägt langsam dazu bei, die aktuelle Energie der Rotationsbewegung zu konsumiren. Sollte jeder der beiden störenden Einflüsse für sich von differentieller Kleinheit sein, oder sollten sich beide gegenseitig neutralisiren — so viel steht fest, dass es bislang noch nicht gelungen ist, einen derselben thatsächlich nachzuweisen*); Hertz allerdings hält es [46] mit Thomson und Tait für wahrscheinlich, dass die Erde im Verlaufe eines Jahrhunderts 22 Sekunden hinter einem richtigen Chronometer zurückbleibe — eine Verzögerung, die nur durch eine längs des Aequators konstant von Ost nach West gerichtete Kraft von 530 000 000 kgm zu erklären wäre. Das Meer müsste sich zu dem Ende an den Westküsten der Oceane um 0,3 m über die durch jene gelegten Niveauflächen erheben. Aus einer Abhandlung von Tägert (vgl. §. 13) scheint zu erhellen, dass bei tieferer analytischer Untersuchung die Angelegenheit noch nicht spruchreif und es verfrüht ist, die Verzögerung der Erdrotation durch die Fluthreibung als eine Thatsache zu behandeln. Wie aber wäre überhaupt ein solcher Nachweis zu erbringen?

J. J. v. Littrow charakterisirt das zu diesem Behufe dienliche Verfahren so einfach und elegant in seinem Gehler-Artikel „Tag“ [47], dass wir nicht umhin können, die wesentlichsten Punkte aus seiner Erörterung hier niederzulegen. Seit den ältesten kontrolirbaren Beobachtungen von Finsternissen, welche wir den Chaldäern verdanken, sind 2500 Jahre verflossen; dieser nicht eben kurze Zeitraum steht uns also für unsere Betrachtungen zur Verfügung. Betrüge nun etwa die konstant sich wiederholende Verkürzung der Tagesdauer den αten Theil des heutigen Tages, als des letzten der angenommenen Periode, und wäre n der Bogen, welchen der Mond im Verlaufe eines mittleren Tages am Himmel zurücklegt, so hätte man, den gegenwärtigen mittleren Tag zur Zeiteinheit genommen, für die in den der Reihe nach vorhergehenden Tagen beschriebenen Bogen des Mondlaufes die Werthe:

$$n,\ n(1+\alpha),\ n(1+2\alpha),\ n(1+3\alpha)\ \ldots\ n[1+(t-1)\alpha];$$

t bezeichnet die Anzahl der Tage in dem ganzen Intervall. Man hat hier eine arithmetische Reihe vor sich, deren Summe

$$S = \frac{t}{2}[n+n+n\alpha(t-1)] = nt + \frac{1}{2}n\alpha t(t-1)$$

gefunden wird, wofür aber angesichts des grossen Zahlenwerthes von t auch

$$S = nt + \frac{1}{2}n\alpha t^2$$

*) Von dem Widerstande des Aethers nimmt die Wissenschaft aus den in Kap. II, §. 15 der ersten Abtheilung entwickelten Gründen Abstand. Eher könnte der Meteoritenfall in Betracht kommen, doch hat auch für diese Weltkörper Newcomb in seiner gleich nachher zu erwähnenden Abhandlung dargethan, dass sie, um die Tagesdauer zu alteriren, in ganz unverhältnissmässig grösserer Menge der Erde begegnen müssten, als nach unseren bisherigen Erfahrungen anzunehmen ist.

gesetzt werden kann. Um das zweite Glied $\frac{1}{2}$ n α t^2 dieses Ausdrucks wäre also die tabellarische Länge des Mondes zu vermehren. Wären n' und S' analoge Grössen für die Sonnenbewegung, so wäre

$$S' = n't + \frac{1}{2} n'\alpha t^2$$

zu setzen, und durch Subtraktion fände sich

$$S - S' = t(n - n') + \frac{1}{2} \alpha t^2 (n - n') = t(n - n') + \delta.$$

Wegen der Tagesverkürzung müsste sohin für eine t Tage vor unserer Zeit beobachtete Sonnenfinsterniss die tabellarische Längen-Differenz (S—S') der beiden Hauptgestirne um die Grösse δ vergrössert werden. Führt man die betreffende Rechnung wirklich durch, so findet man, dass selbst dann, wenn α mit einem Zehnbilliontel der Zeiteinheit identificirt wird, der Tafelfehler, der bisher nur auf wenige Bogensekunden sich belief, auf den hohen Werth von 30 Bogenminuten gesteigert würde. Gestützt darauf, darf man getrost die bereits von Laplace erkannte Wahrheit aussprechen, dass zur babylonischen Zeit der Tag noch nicht um 0,01 Zeitsekunden länger war, als heute.

Statt von Sonne und Mond kann man, wie Schönfeld [48] betont, bei der Entscheidung der vorwürfigen Frage auch von jedem beliebigen anderen Himmelskörper ausgehen, dessen mittlere säkuläre Bewegung genau bekannt ist, und zwar mit um so mehr Erfolg, je rascher er sich in seiner Bahn bewegt. Weiter erinnert der genannte Astronom daran, das es an einer völlig genügenden Mondtheorie noch immer fehle, dass die von Hansen aufgestellte hinter den an sie geknüpften Erwartungen zurückgeblieben sei, und dass auch durch die tiefgreifenden Untersuchungen eines Adams, Delaunay und Newcomb das vorgesteckte Ziel einer völligen Konkordanz von Berechnung und Beobachtung nicht habe erreicht werden können. Diese Nichtübereinstimmung zu erklären, gäbe es nur zwei Annahmen: entweder sind noch unentdeckte Fehler vorhanden oder die Rotationsgeschwindigkeit der Erde, das astronomische Normalzeitmaass, besitzt keinen konstanten Werth. Ersteres wird als das weitaus Wahrscheinlichere bezeichnet, doch ist die Möglichkeit nachgerade nicht ausgeschlossen, dass seit einem Vierteljahrhundert jeder Tag um $^1/_{3000000}$ Sekunde kürzer geworden sei, als sein unmittelbarer Vorgänger. Newcomb hält es nicht für undenkbar, dass die Axendrehung Ungleichheiten von langer Periode und unregelmässigem Charakter unterworfen wäre, diskutirt vielmehr diese Hypothese sehr ernsthaft [49]. Er weist nämlich darauf hin, dass das Erdinnere wahrscheinlich durch eine flüssige, mit grosser Beweglichkeit der Theilchen begabte Masse erfüllt wird. Gelangt nun ein erhebliches Quantum dieser Masse durch eine wie immer beschaffene Ursache aus der Umgebung des Aequators in höhere Breiten, und nähert es sich so der Drehungsaxe, so gewinnt der Erdkern ein grössere, die feste Kruste eine kleinere Winkelgeschwindigkeit, bis allmählig die Reibung eine Ausgleichung und schliesslich sogar eine beschleunigte Rotation der Umhüllung herbeiführte. Fortgesetzte Beobachtungen des Mondes, sowie der Durchgänge der beiden unteren

Planeten durch die Sonnenscheibe verschaffen uns vielleicht einige Einsicht in dieses merkwürdige Wechselspiel.

Auf eine autonome Bewegung der Erdkruste, die aber eben vermuthlich auch in den soeben geschilderten Verhältnissen begründet wäre, deuten gewisse Bewegungsphänomene, deren Kenntniss wir Bertelli [50] verdanken. Einige Beobachtungen von Mersenne*) [51], von Lecat [52], von Toaldo [53] über unregelmässige Oscillationen freihängender Pendel gehören hierher; wenigstens lassen sie sich aus dem Foucault'schen Pendelversuche nicht kausal erklären. Ebenso nahm D'Abbadie auf seiner äthiopischen Reise Schwankungen der Luftblase seiner Libelle wahr, welche er nur mit einer durch die Attraktion von Sonne und Mond bewirkten Eigenbewegung der Erdkruste in Verbindung bringen zu können glaubte. Parnisetti [54] will diese Bewegung statistisch nachgewiesen haben. Endlich mag auch bei diesem Anlasse an die so manches Räthsel in sich schliessenden Experimente Ph. Plantamour's erinnert sein. Derselbe nahm wahr, dass die Blase des Instrumentes periodische Oscillationen vollzog, ob ihre Axe nun in die Meridanebene fiel oder auf dieser senkrecht stand. Für ein bestimmtes Beobachtungsjahr konnte an eine in bestimmter Richtung erfolgte Bodensenkung gedacht werden, allein im Grossen und Ganzen vermochte dieser Umstand ebensowenig, wie der eine und andere leichte Erdstoss, das Kausalitätsbedürfniss zu befriedigen. Plantamour musste sich damit begnügen, von der Zukunft weitere Aufschlüsse zu erhoffen; „ces observations des niveaux," sagt er [55], seront continuées, et la comparaison des mouvements périodiques du sol pendant plusieurs années amènera peut-être à connaître la cause ou les causes multiples qui les produisent." Uns will bedünken, dass Newcomb wenigstens einen der Schlüssel zur Ergründung dieser Mysterien uns in die Hand gegeben habe; Zöppritz führt das Phänomen auf die ungleiche Erwärmung des Untergrundes zurück.

§. 3. **Konsequenzen aus der Axendrehung der Erde.** Wenn wir in diesem Paragraphen von den Folgerungen sprechen, welche aus der als wahr anerkannten Lehre von der Erdrotation entfliessen, so verfahren wir in einem der üblichen didaktischen Methode gerade entgegengesetzten Sinne. Man ist nämlich gewohnt, die Erscheinungen, mit welchen wir uns zu beschäftigen gedenken, als Beweismittel für den ersten Satz des coppernicanischen Systemes zu verwerthen, während wir diesen Satz als ipso facto gültig betrachten und zusehen, welcher Art die sichtbaren und fühlbaren Manifestationen der Axendrehung unserer Erde sind**). Scheinbeweise wie z. B. der, dass ja auch die übrigen Planeten eine solche Bewegung aufweisen, können ohnehin in einer wissenschaftlichen Darstellung keine Stelle finden.

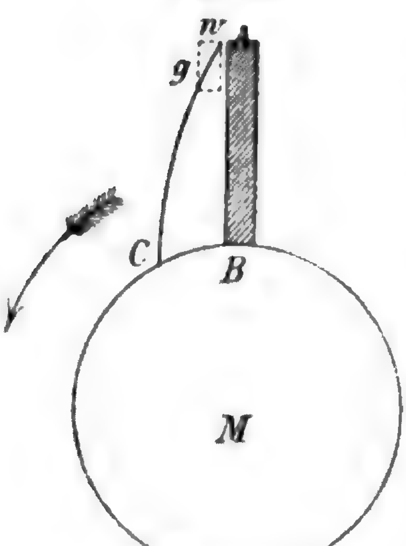
a) **Fallversuche.** Während Tycho Brahe (s. o.) von der Ansicht ausgieng, ein freifallender Körper müsse westlich von dem Punkte zur Erde gelangen, von welchem aus man ihn fallen liess, erkannte

*) Die sechzehnte Proposition in Mersenne's „Ballistica et acontismologia" will „quid circa pendulum, quod aliqui vocant sexhorarium, contingat, ex observationibus aperire."

**) Verf. bezieht sich hier auf einen früher publicirten und den Gegenstand mehr im Detail behandelnden Aufsatz [56].

Newton zuerst, dass sich Alles gerade umgekehrt verhalten müsse, indem ja alle im Anziehungsbereiche der Erde befindlichen Körper unbedingt an deren Umschwung theilnehmen. Im November 1679 verständigte er sich mit dem berühmten Experimentator Hooke über Versuche, welche in dieser Absicht anzustellen wären [57], doch glückte es damit ebensowenig, wie mit jenen Proben, die Gassendi schon früher auf eigene Hand an den Mastbäumen schnellsegelnder Schiffe gemacht hatte [58]. Etwas besser gelang der Versuch dem Italiener Guglielmini [59], aber erst Benzenberg brachte es 1804 im Inneren des Michaelisthurmes zu Hamburg zu einer solchen Genauigkeit [60], dass Laplace seine Ergebnisse dem Wahrscheinlichkeitskalkul gemäss zu bearbeiten und mit ihrer Hülfe die Wahrscheinlichkeit für eine wirkliche Axendrehung der Erde auf $^{7999}/_{8000}$ anzusetzen in der Lage war. Die neueste und beste Versuchsreihe dieser Art verdankt man Reich, der den tiefen Freiberger Dreibrüderschacht zu seinen Beobachtungen benützte [61]. Ist M (Fig. 35) der Erdmittelpunkt, A B ein auf der Oberfläche befindlicher Thurm, und lässt man von der Spitze A desselben einen schweren Körper vertikal herabfallen, so wirken auf dessen Schwerpunkt zwei Kräfte: die Fallbeschleunigung g und der aus der Umdrehung entspringende, der Geschwindigkeit von A gleiche Impuls. Der Körper beschreibt sonach eine Parabel oder richtiger einen kubischen Kegelschnitt und trifft die Erdoberfläche in einem Punkte C, der von B gegen Osten gelegen, ausserdem aber etwas nach Süden von der Mittagslinie abgelenkt ist; eine Formel zur Berechnung der östlichen Ablenkungsgrösse ist von Olbers dem erwähnten Benzenberg'schen Buche einverleibt worden. Nach Wernicke (Grundzüge der Elementarmechanik, Braunschweig 1883, S. 227) ist, wenn $g_{\varphi, R}$ die der Breite φ entsprechende Fallbeschleunigung auf einer Erdkugel vom Radius R bedeutet, wenn die Höhe der Fallstrecke z und die Umdrehungszeit der Erde T ist, östliche und südliche Abweichung sehr angenähert resp. durch einen der beiden folgenden Ausdrücke gegeben:

Fig. 35.



$$\frac{4\pi\cos\varphi . z}{3T}\sqrt{\frac{2z}{g_{\varphi, R+z}}} \text{ und } z . \operatorname{tang}\varphi . \frac{0{,}03391 \cos^2\varphi}{g_{\varphi, R+z}} .$$

Störungen der verschiedensten Art bringen es zuwege, dass die Punkte des Auftreffens bei wiederholten Versuchen nicht ganz genau mit einander übereinstimmen; um den wahrscheinlichsten Fallpunkt zu ermitteln, muss man sich die einzelnen Punkte als mit gleichen Gewichten belastet vorstellen und den Schwerpunkt der Punktgruppe aufsuchen.

b) **Lothrechter Wurf.** Wird ein Gegenstand senkrecht in die Höhe geworfen oder geschossen, so gelangt er successive in Regionen, welche zwar die gleiche angulare, aber eine grössere lineare Geschwindigkeit besitzen, als der Ausgangspunkt. In Folge dessen wird das

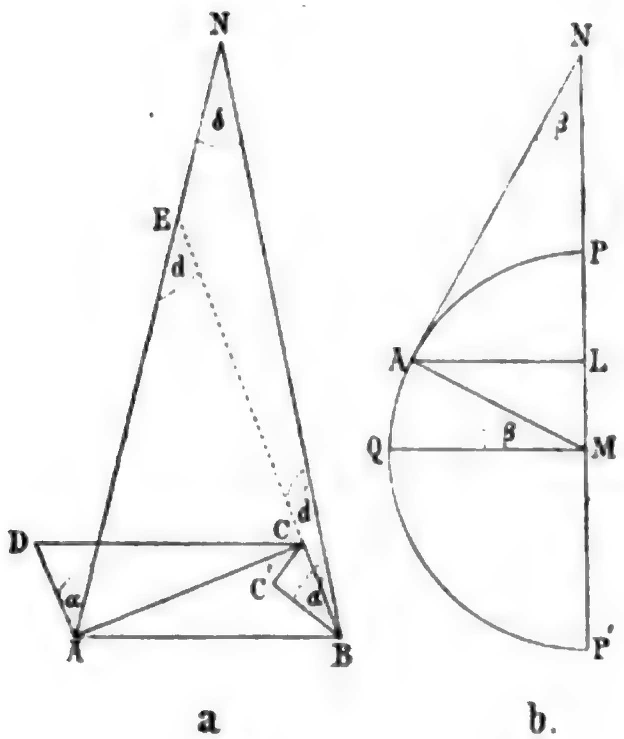
Projektil eine Ablenkung im Sinne der Erddrehung erfahren und östlich von dem Punkte zum Erdboden zurück gelangen, in welchem es den letzteren verliess. Den ersten Versuch dieser Art beschreibt Furttenbach's „Halinitropyrobolia", die in Ulm 1627 gedruckt wurde, und zwar beschreibt nach Kästner's Auszügen [62] der Autor seine Erfahrungen in originellster Weise. Er setzte sich, klug berechnend, unmittelbar nach Abgabe des Schusses auf die Mündung des vertikal in die Erde eingegrabenen Böllers, in welche seinem richtigen Schlusse gemäss die Kugel nicht mehr zurückkehren konnte. Kästner giebt über diese Frage auch noch einige andere geschichtliche Notizen, die um so interessanter sind, als es an neueren ballistischen Versuchen dieser Art gänzlich zu mangeln scheint; höchst auffällig ist jedoch der Umstand, dass der durchaus nicht unbedeutende Mathematiker den wahren Grund der Abweichung gar nicht bemerkt, sondern diese der mangelhaften Anordnung des Experimentes zur Last legt. Folgendes sind seine Worte [63]: „Mersennus liess eine Kanonenkugel aufwärts schiessen. Man sahe sie nicht wieder, die Philosophen machten allerley seltsame Hypothesen deswegen, darüber auch Butler, im Hudibras, spottet, wo er den Sydrophel schildert. Der natürlichste Gedanke fiel ihnen nicht ein, dass die Kugel nicht ganz vertikal aufgestiegen, also an einen Ort gefallen, wo man sie nicht suchte. In Observations curieuses sur toutes les parties de la Physique T. IV. Par. 1771 stehen Versuche dieser Art, da bey sorgfältiger vertikalen Richtung, die Kugel doch weit von der Stelle niedergefallen."

c) **Azimutalveränderungen horizontaler Bewegungen.** Jedwede an der Oberfläche der Erde vor sich gehende Bewegung wird unter dem Einflusse der Erdrotation auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt. Dass dem unter allen Umständen so sein müsse, beweist der nachstehend mitgetheilte Beweis, der ursprünglich von Buff [64] herrührt, von Zöppritz aber in die gegenwärtige Form gebracht wurde [65]. Ein materieller Punkt würde, wenn die Erde stille stände, auf horizontaler Ebene in der Zeiteinheit den Weg AD (Fig. 36a) zurücklegen, während er in der gleichen Zeit auf der sich drehenden Erde den Weg AB beschreibt. Es tritt also der Satz vom Parallelogramm der Bewegungen in Kraft, und der Punkt bewegt sich thatsächlich durch die Diagonale AC des Parallelogrammes ABCD. Der nach B versetzte Beobachter muss somit den Eindruck bekommen, als sei von dem ursprünglich in's Auge gefassten Punkte die Strecke BC durchlaufen worden. Die Grösse der Ablenkung ist leicht zu bestimmen, sobald die Nordlinien AN und BN gezogen werden*). Das anfängliche Azimut war $\sphericalangle$ NAD $= \alpha$, das nachherige ist $\sphericalangle$ NBC $= \alpha'$;

*) Benoni erklärt den Buff'schen Beweis für unrichtig, weil AN und BC in Wirklichkeit zwei windschiefe Gerade seien, die gar keinen gemeinsamen Punkt E besässen [66]. Dieser Einwurf mag auf den ersten Blick einigen Schein für sich haben, ist jedoch nichtsdestoweniger ganz belanglos. Denn was ist eine Horizontalebene in A anders als eine in diesem Punkte an die Erdkugel gelegte Tangentialebene? Angesichts der Kleinheit des Weges AB kann aber ohne Irrthum auch der Punkt B als in derselben Ebene liegend angenommen werden, und es liegen demnach alle die Fig. 36a bildenden Linien in Wirklichkeit in der Papierebene.

verlängert man BC, bis es die AN in E schneidet, so ist auch $\sphericalangle$ AEB als Wechselwinkel $= \alpha$. $\sphericalangle$ AEB ist ein Aussenwinkel des Dreiecks BEN, es ist also, wenn noch $\sphericalangle$ BNA $= \delta$ gesetzt wird, $\alpha = \delta + \alpha'$, $\delta = \alpha - \alpha'$. Der Winkel δ giebt an, um wieviel das ursprüngliche Azimut am Ende des ersten Zeittheiles kleiner geworden ist; dass die Ablenkung eine rechtseitige war, erhellt aus der Figur. Würde man in der Horizontalebene an BN in B den Winkel NBC′ $= \alpha$ anlegen, so wäre natürlich $\sphericalangle$ CBC′ $= \delta$; der obige Beobachter wird also noch weiter glauben müssen, der Punkt A habe sich um CC′ $= \sigma$ von ihm entfernt. Setzen wir die Eigengeschwindigkeit AD $=$ BC des Mobiles $=$ v, den Weg AB $=$ s und AN $=$ k, so haben wir, da die gleichschenkligen Dreiecke ABN und CC′B einander ähnlich sind, zur Bestimmung von σ die Proportion $\sigma : s = v : k$; es ist $\sigma = \frac{vs}{k}$.

Fig. 36.



Die Grössen k und s ergeben sich aus Fig. 36b. Darin bedeutet M den Mittelpunkt der Erde, MQ einen Aequatorialhalbmesser, PAP′ den Meridian, welchem der Punkt A in Fig. 36a angehörte. Zieht man AM und errichtet in A auf AM ein Loth, so schneidet dieses die verlängerte Polaraxe P′P in einem Punkt N, welcher dem früheren N entspricht. Wird endlich noch von A auf P′P die Senkrechte AL gefällt, so ist $\sphericalangle$ QMA $= \sphericalangle$ MAL $= \sphericalangle$ ANL $= \beta$ (geographische Breite). Aus dem in A rechtwinkligen Dreieck AMN folgt zunächst, unter r den Erdhalbmesser verstanden, $AN = k = \frac{r \cos \beta}{\sin \beta}$. Versteht man ferner unter ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde, so ist der unter der Breite β in der Sekunde als Zeiteinheit beschriebene Weg $s = AL \,.\, \omega$, und, da $AL = r \cos \beta$, $s = \omega r \cos \beta$. Ein Sterntag hat 86164 Sekunden; also ist

$$\omega = \frac{2\pi}{86164}$$

und

$$\sigma = \frac{vs}{k} = v \omega r \cos \beta \,.\, \frac{\sin \beta}{r \cos \beta} = \omega v \sin \beta = \frac{\pi v \sin \beta}{43082}.$$

Dieser Ausdruck ist für alle horizontalen Deviationen maassgebend. Bislang war nur von der Zeiteinheit die Rede; dauert die Bewegung t Sekunden an, so setzt Buff (a. a. O.) die entsprechende Ablenkung $\sigma_t = \omega \,.\, v \,.\, t \,.\, \sin \beta$. Dem gegenüber hebt Zöppritz hervor, dass hier nicht von einer gleichförmigen, sondern von einer gleichförmig beschleunigten Bewegung die Rede sei, indem ja der nämliche Impuls zu Beginn jedes neuen Zeittheilchens immer wieder sich geltend macht.

Die Beschleunigung besitzt die Grösse $2\omega v \sin\beta$*), und es ist deshalb, wenn man die Bewegung als aus der Ruhe vor sich gehend denkt, in aller Strenge

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \cdot 2\omega \cdot v \cdot \sin\beta \cdot t^2 = \omega \cdot v \cdot \sin\beta \cdot t^2$$

zu setzen. Auf der Südhemisphäre ergiebt sich analog eine Ablenkung nach der linken Seite hin. Solche Richtungsänderungen treten nun bei horizontal bewegten Körpern in der That hervor, und wir stellen im Folgenden eine Anzahl der auffälligsten Erscheinungen dieser Art zusammen, uns vorbehaltend, diejenigen Einzelfälle hier nur vorübergehend zu streifen, welche sich für besondere Zweige der Geophysik wichtig erweisen und deshalb in den einschlägigen Kapiteln dieses Buches einer besonderen Betrachtung unterzogen werden müssen.

I. **Die Deviation der Geschosse.** Je intensiver eine Bewegung ist, um so stärker wird sich auch die laterale Abweichung fühlbar machen; ist doch (s. o.) σ_t der Grösse v direkt proportional. So erkannte denn auch schon D'Alembert diese Deviation, als er über die Bewegung geschleuderter Körper seine berühmte Abhandlung schrieb [67], in welcher auch eine richtige Deutung des Mersenne'schen Schiessversuches (s. o.) zu finden ist. Noch genauer gieng Poisson [68] auf die Sache ein, indem er zeigte, dass die Rechts- (resp. Links-) Abweichung in Wahrheit aus zwei Theilen sich zusammensetze. Der erste Bestandtheil, welcher der Grösse nach erheblich überwiegt und in unserer obigen Ableitung auch allein abgehandelt wurde, ist rein mechanisch durch das Trägheitsgesetz bedingt und von dem Azimut der Bewegung völlig unabhängig, wie denn auch in unseren Formeln der Winkel α nicht vorkommt; der zweite Bestandtheil resultirt daraus, dass das Projektil Parallelkreise von verschiedener Winkelgeschwindigkeit durchschneidet. Sein Maximum erreicht dieser Betrag bei meridionaler Richtung der Seelenaxe, indessen ist derselbe so unverhältnissmässig kleiner als der erste — selbst auch nur sehr kleine — Summand, dass bei den in der Artillerie vorkommenden Geschwindigkeiten nur dieser letztere einigermassen berücksichtigt zu werden braucht. Auch Poisson betrachtete übrigens mehr nur einen ideellen Fall, er sah vom Luftwiderstand ab, nahm die Erde nicht als sphäroidal, sondern als kugelförmig an und verzichtete damit auf die unmittelbare praktische Anwendbarkeit seiner Resultate. Um so uneingeschränkter waren die Voraussetzungen, welche neuerdings Finger seiner die Frage zu einem einstweiligen Abschluss bringenden Arbeit [69] zu Grunde legte. Er fand, dass die bekannte Deviationsformel nur eine erste Annäherung darstellt, dass überhaupt in der ganz allgemeinen Relation das Azimut nicht verschwindet, dass aber die seitliche Ablenkung durchaus nicht etwa für eine nördliche oder südliche Richtung ein Grösstes wird; die Abweichungsgrösse wird vielmehr ein Maximum, wenn der Körper

---

*) Bei jeder gleichförmig beschleunigten Bewegung ist der im ersten Zeittheil zurückgelegte Weg halb so gross, als die Beschleunigung. Der freie Fall z. B. gehört in diese Kategorie; bei ihm ist die Beschleunigung g = 9,80896, demnach legt ein aus der Ruhe fallender Körper in der ersten Sekunde einen Weg von 4,40448 m zurück.

nach Osten, ein Minimum, wenn er nach Westen sich bewegt. Dieses Faktum scheint sich mit den landläufigen Anschauungen freilich nicht recht vereinigen lassen zu wollen, allein es hat nicht blos die mathematische Autorität seines Entdeckers hinter sich, sondern auch das Zeugniss der praktischen Ballistik, indem Darapsky's Versuche [70] Folgendes ergaben: Wird das Projektil unter einem östlichen Azimut abgeschossen, so wird seine Rechts-Ablenkung immer grösser und grösser und erreicht ihren grössten Werth, wenn direkt von Westen nach Osten geschossen wird; im nord- und im südwestlichen Quadranten findet gerade das Entgegengesetzte statt. Aus dem, was Darapsky folgert, lässt sich der weitere Schluss ziehen, dass Poisson's Worte (a. a. O.) „ces déviations sont également négligeables dans le tir du canon, et dans tous les mouvements, qui ont lieu suivant une direction à peu près horizontale" heutzutage, wo sich die Tragweite der Belagerungsgeschosse gegen damals mehr denn verdoppelt hat, nicht mehr auf Treu und Glauben hingenommen werden dürfen.

II. **Der seitliche Schienendruck bei Eisenbahnen.** Bisher ward angenommen, die Bahn des Mobiles sei eine vollkommen freie, dasselbe vermöge der lateral ablenkenden Tendenz ungehindert zu folgen. Bewegt sich der Punkt dagegen in einer vorgeschriebenen Bahn, etwa in einer Röhre, so wird die fragliche Tendenz sich durch einen — auf unserer Halbkugel rechtsseitigen — Druck gegen die Waudung der Röhre geltend machen. Der bekannte amerikanische Physiker Maury wollte nun auch die weitere Wahrnehmung gemacht haben [71], dass auf Eisenbahnen von meridionaler Richtung die nach Norden fahrenden Züge östlich, die nach Süden fahrenden dagegen westlich aus den Schienen zu springen geneigt seien. Eine analoge Erfahrung soll nach Martus [72] auch in Deutschland gemacht worden sein. „Ein ungleiches Vorrücken der Schienen," heisst es, „tritt auf der meridional laufenden Hamburg-Harburger Eisenbahn sehr deutlich hervor, dadurch begünstigt, dass der Bahnkörper über weichen Moorgrund geht. Von den vier Schienen des Doppelgeleises schreitet jede äussere, welche für die in der einen oder der anderen Richtung fahrenden Züge die rechtsliegende ist, in einem Vierteljahre durchschnittlich acht Centimeter weiter vor, als jede andere; nämlich die rechte 15 cm, die linke nur 7 cm. Und dieses Verschieben stellt sich nach jeder Bahnregulirung in etwa drei Monaten in solcher Grösse immer wieder her, so sehr man auch in der Unterbettung der Geleise durch gutes Stopfmaterial dem entgegenzuwirken sucht." Zöppritz hat mit Recht an dieser Darstellung einen Punkt zu tadeln [73], denjenigen nämlich, dass auf die Nord-Südrichtung der Trace Gewicht gelegt wird; ähnliche Erscheinungen müssten, ganz unabhängig von der Richtung, bei jeder Bahn zu konstatiren sein, welche über weichen Grund geht und Geleise besitzt, die stets nur in dem nämlichen Sinne befahren werden. Die fragliche Bahn hat, von Hamburg aus gerechnet, die Richtung Süd-Südost, sie fällt also in einen Quadranten, welcher nach Finger (s. o.) dem Zustandekommen der Erscheinung nicht einmal besonders günstig ist. In der That aber ist auch in Martus' Berechnungsformel das Azimut gar nicht eingegangen. Eine solche Formel lässt sich nach Schrader [74] sehr einfach herleiten, wenn man sich auf die Eingangs dieses Paragraphen festgestellten Thatsachen bezieht. Mit Beibehal-

tung der dortselbst gebrauchten Bezeichnung würde, wenn die Radkränze nicht wären, die Lokomotive eines Bahnzuges um $\omega v \sin \beta t^2$ nach rechts gedrängt worden sein. Für diesen Weg kann aber auch ein zweiter Ausdruck aufgestellt werden; sei D der zu bestimmende Druck auf die rechtslaufende Schiene, Q das Gewicht des Dampfwagens, so ist $g \cdot \frac{D}{Q}$ die Beschleunigung, $\frac{1}{2} g \cdot \frac{D}{Q} t^2$ der zurückgelegte Weg, und es bestehen die Gleichungen

$$\frac{1}{2} g \cdot \frac{D}{Q} t^2 = \omega v \sin \beta t^2; \quad D = \frac{2 Q \omega v \sin \beta}{g}.$$

Nimmt man als Durchschnittsgeschwindigkeit einen Werth $v = 10$ m an, so ergiebt sich für die mittlere Breite von Deutschland das Verhältniss $D : Q$ annähernd wie $1 : 10\,000$. Irgend eine erhebliche Wirkung scheint nach dieser Rechnung die Erdrotation nicht hervorzubringen. Man könnte einwenden, unser Berechnungsmodus sei ein etwas summarischer und nicht vollkommen strenger; mag diess aber auch zuzugeben sein, so lässt sich doch nicht ein Gleiches behaupten von der Arbeit eines hervorragenden Eisenbahntechnikers, Hallbauer's, welche der Sache wirklich auf den Grund geht [75]. Bei der gewöhnlichen Spurweite von 1,436 m und bei der — schon sehr hoch gegriffenen — Maximalgeschwindigkeit von 25 m in der Sekunde genügt es, die Schiene zur Rechten um 0,0004 m zu erhöhen, um den aus der Rotation entspringenden Einfluss ein für allemal zu paralysiren. Dass aus einem Höhenunterschiede, der mit unbewaffnetem Auge kaum erkannt werden kann, nicht wirkliche Gefahren für den Bahnbetrieb resultiren, dürfte wohl nicht bestritten werden. Beobachtungen, wie die von Martus erwähnten, sind also nicht geradezu als unglaubwürdig zu bezeichnen, allein mit grosser Vorsicht wird man ihnen gewiss gegenüberzutreten haben. Jene mit Rücksicht auf die Ablenkungstendenz gearbeitete Statistik der Eisenbahnunfälle, welche K. E. v. Bär gewünscht hat [76], wird, wenn unsere Ausführungen das Richtige treffen, weder für die Geophysik noch für die Betriebstechnik besonderen Werth beanspruchen können *).

III. **Ausflusserscheinungen.** Perrot nahm ein cylindrisches Gefäss, füllte es mit Wasser und brachte genau im Mittelpunkt der unteren Grundfläche ein Loch an; alsdann streute er leichte Schwimmkörperchen in die Flüssigkeit und beobachtete die Bahnen, welche jene beschrieben [79]. Man musste erwarten, dass die nahe dem Boden befindlichen Schwimmer sich radial der Ausflussöffnung nähern würden, allein obwohl die Bahnkurven anfänglich geradlinig waren, so krümmten sie sich späterhin doch immer mehr und mehr nach der rechten Seite hin, so dass sämmtliche Körper zuletzt in Spiralen von rechtseitigem Drehsinne um die Oeffnung rotirten: „le mouvement de la terre se manifeste donc par cette direction que prennent les corpuscules en arrivant vers le centre d'éco lement.“ Auch hier-

*) Weitere theoretische Erörterungen übe n Rede stehenden Gegenstand verdankt man Braschmann [77] und I f [78].

über hat sich Braschmann in längerer Auseinandersetzung verbreitet [80].

IV. **Wind- und Meeresströmungen.** Darüber, dass bei der Gestaltung der charakteristischen Stromsysteme in den unseren Erdkörper umhüllenden elastisch- und tropfbar-flüssigen Kugelschalen die Rotation, an welcher beide natürlich gleichen Antheil nehmen, eine wichtige Rolle spiele, herrscht kein Zweifel mehr. Gewisse Kapitel der fünften und der sechsten Abtheilung werden uns Gelegenheit geben, der Sache näher zu treten.

V. **Die Verschiedenheit der Flussufer.** Jener Seitendruck, welchen wir weiter oben bei den Eisenbahnschienen studirten, muss bis zu einem gewissen Grade auch bei den Uferwänden der Ströme zu konstatiren sein. Doch halten wir es für angezeigt, hierauf und auf das sogenannte Bär'sche Gesetz erst in dem von der Thalbildung handelnden Kapitel der achten Abtheilung näher einzugehen.

Hiemit wäre denn den aus der Erddrehung entspringenden Richtungsänderungen horizontal bewegter Körper ihr Recht geworden, und wir können in aller Kürze noch auf einige minder belangreiche Nebenfragen unseren Blick richten.

d) **Anderweite terrestrische Erscheinungen.** Der schweizerische Mathematiker Denzler war einer der Ersten, welche der oben in V. genannten Frage ihr Interesse zuwandten; er publicirte darüber eine Abhandlung [81], in welcher er den Nachweis führen zu können glaubte, dass „eine Tendenz nach rechts“ bei den allerverschiedensten Ereignissen hervortrete. Hierher rechnete er z. B. das Voreilen der sinkenden und das Zurückbleiben der steigenden Wolken (beide gelangen allmählig in Gegenden von anderer Geschwindigkeit), ferner die an der Ostseite angeblich am stärksten hervortretende Verwitterung der Gesteine, die Ostabdachung der Kontinente, die Variation der magnetischen Elemente und noch manches Andere. Es scheint aus den Worten von Denzler's Biographen R. Wolf hervorzugehen [82], dass die Umgebung des Ersteren in diesen Hypothesen ganz richtig Phantasmen erkannte, und etwas Anderes wird man kaum darin finden können.

Einige Behutsamkeit dürfte auch gegenüber den ab und zu namhaft gemachten botanischen Aeusserungen der Erdumdrehung am Platze sein. Am sichersten bezeugt und durch die elliptische Form der Jahresringe kontrolirbar ist die vorläufig nicht gut anders zu erklärende Verschiedenheit des Dickenwachsthums gewisser Holzpflanzen, namentlich der Koniferen, von welcher Ludwig [83] berichtet. Eine Allee in unmittelbarer Nähe der Stadt Wiesbaden lässt bei sämmtlichen Bäumen gewisse Sprünge wahrnehmen, welche möglicherweise auch dadurch entstanden sind, dass unter dem Einflusse der Rotation der Stammdurchmesser in der Ostwestrichtung ein stärkeres Wachsthum besitzt, als in der dazu senkrechten*). Es ist, wenn man sich gewisse anderweite Resultate der Pflanzenphysik**) vergegenwärtigt, allerdings

---

*) Der Verf. verdankt den Hinweis auf diese jedenfalls bemerkenswerthe und weiterer Untersuchung würdige Erscheinung Herrn Prof. Unverzagt zu Wiesbaden.

**) Den Zusammenhang der Pflanzengestalt mit Schwer- und Rotationswir-

nicht undenkbar, dass es auf diesem Gebiete noch so manche uns unbekannte Manifestation der Erdbewegung gäbe, allein leicht wird es niemals sein, dieselbe aus der Fülle verhüllender Nebenumstände herauszuschälen. Von Interesse ist eine bezügliche Bemerkung Bianchi's gegen Musset (Gaea, 3. Jahrg. S. 542, 5. Jahrg. S. 431).

§. 4. **Der Foucault'sche Pendelversuch und dessen Abänderung durch Onnes.** Den striktesten Beweis für die Richtigkeit des Satzes, dass nicht durch die Umdrehung des Himmels, sondern durch die Umdrehung der Erde der Wechsel von Tag und Nacht bewirkt wird, bietet der nach dem Pariser Akademiker Foucault benannte Pendelversuch. Nicht, als ob vor Foucault Niemand daran gedacht hätte, dass in den Schwingungen eines aus seiner Ruhelage herausgebrachten Pendels ein noch zu entschleierndes Geheimniss ruhe, ja man kann sogar, wie der Verf. zeigte [86], eine förmliche Vorgeschichte des Experimentes liefern. Möglicherweise spielte schon Galilei auf eine ähnliche Beobachtung an, als er seinem Salviati im Dialog über die Weltsysteme, nachdem derselbe die gewöhnlichen Argumente zu Gunsten der Erddrehung angeführt hat, diese Worte in den Mund legte [87]: „Exsurgit in hoc tempore quinta quaedam novitas, ex qua mobilitas globi terrestris argui queat, per ea quae subtilissime detegit illustrissimus dominus Caesar, e nobilissima Marsiliorum Bononiensium familia satus, et ipse collegio lynceorum academicorum adscriptus, qui in quodam doctissimo scripto tradit, observasse se continuam quandam mutationem, etsi tardissimam, in linea meridiana." So fasst wenigstens Caramuel von Lobkowitz die Schwankung des Meridians, welche Marsigli entdeckt haben wollte*), in jenem merkwürdigen Schriftchen [90] auf, welches er selbst den angeblich spontanen Pendelschwingungen widmete, die Peirinsius und Gassendi [91] entdeckt haben wollten, Schwingungen, deren Existenz Caramuel allerdings entschie-

---

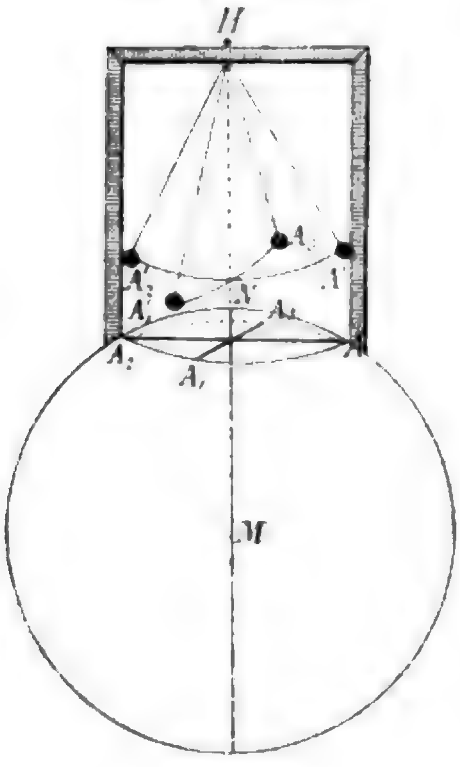
kungen hat insbesondere Wiesner zum Gegenstande seiner Forschungen gewählt [84]; seine Resultate lassen sich kurz zusammenfassen, wie folgt [85]. Die Richtung der Pflanzentheile, wahrscheinlich aber auch deren Form und relative Grösse, wird von der Schwerkraft bestimmt, zumal in Bezug auf das Längenwachsthum. Das Wort Geotropismus dient dazu, den ganzen Komplex hierher gehöriger Thatsachen unter einen Gesammtbegriff zu bringen. Seit Knight's Versuchen (1806) weiss man, dass gewisse Organe unter dem Einflusse der Schwerkraft nach aufwärts, andere nach abwärts wachsen. Setzt man ferner eine Pflanze auf die Centrifugalmaschine, so sieht man, wie sich die Keimaxe in die Resultirende zwischen Schwung- und Schwerkraft einstellt.

*) Uns freilich erscheint es zweifelhaft, ob Caramuel Recht hatte, Marsigli mag vielmehr unseres Erachtens an etwas ganz Anderes gedacht haben. Während des ganzen XVII. Jahrhunderts stritt man sich darüber, ob eine nach allen Regeln der Wissenschaft gezogene Mittagslinie von freien Stücken, beziehungsweise unter dem Einflusse einer uns noch unbekannten Kraftäusserung, ihre Lage oder Richtung zu ändern vermöge, oder nicht; namentlich stützten sich die Vertheidiger dieser Ansicht auf eine wenig beweiskräftige Angabe des Plinius, wonach ein als Zeitmesser zu Rom aufgestellter Obelisk nach und nach einen falschen Mittag gezeigt habe. Der bekannte englische Mathematiker Wallis sah sich bemüssigt, in einer gelehrten Abhandlung [88] den Gegenstand nach allen Seiten hin zu prüfen. Von deutschen Schriftstellern hat Kordenbusch [89] eine Uebersicht über die für und wider beigebrachten Beweise gegeben und sich am Schlusse derselben nachdrücklich gegen die Annahme irgendwelcher Variabilität der Meridianebene ausgesprochen.

den ableugnen zu sollen glaubte. Man vergleiche hiemit, was oben (in §. 2 dieses Kapitels) über gewisse unerklärliche Oscillationen langer Bleilothe bemerkt wurde. Bouguer [92] und Andreas Mayer [93] stellten ebenfalls durch korrekt ausgeführte Versuchsreihen fest, dass absolut geschützte Pendel nicht von selbst in Bewegung übergehen können, und auch Eimmart, der ursprünglich aus dem von ihm aufgefundenen „Motus retardationis“ Kapital zu Gunsten des coppernicanischen Systemes schlagen zu können geglaubt hatte, kam allmählig wieder von dieser Ansicht zurück [94]. Immerhin war, wie man sieht, die Frage, ob nicht das Pendel ein unmittelbares Beweismittel für die Existenz der Drehung der Erde um ihre Axe abgeben könne, nun einmal auf die wissenschaftliche Tagesordnung gesetzt, und mehr und mehr begann man das Richtige zu ahnen. „Der Pendelversuch,“ sagt R. Wolf [95], „soll übrigens schon früher von Augustin Stark (Augsburg 1777 bis Augsburg 1839; Lehrer der Mathematik und Domherr daselbst) unternommen worden sein, ja schon die Mitglieder der accademia del cimento scheinen das dem Versuche zu Grunde liegende Gesetz von der Konstanz der Schwingungsebene geahnt zu haben, jedenfalls ist derselbe durch L. Poinsinet de Sivry (Versailles 1733? bis 1804; Literat) im Anhange zu seiner Ausgabe des Plinius ganz klar ausgesprochen worden.“ Foucault fand also, als er mit seinem eigenen Gedanken hervortrat [96], das Feld schon bis zu einem gewissen Grade bereitet vor, womit natürlich nicht gesagt sein soll, dass dieser Gedanke nicht voll und ganz sein geistiges Eigenthum gewesen wäre.

Fig. 37 bringt das Wesen des Foucault'schen Pendelversuches zur Anschauung. M ist der Mittelpunkt der Erde, N der Nordpol; über diesem denken wir uns an einem zweckmässig konstruirten Galgen ein Pendel so aufgehängt, dass dessen Ruhelage mit der verlängerten Erdaxe zusammenfällt. Der Pendelfaden wird gehoben und straff gespannt in der Hauptebene des Gerüstes an diesem befestigt. Hierauf brennt man den Faden durch und beobachtet die Schwingungen, die zuerst natürlich in der genannten Ebene vor sich gehen müssen und, wenn die Erde in Ruhe wäre, aus dieser gar nicht heraustreten könnten. Der Beobachter möge sich auf dem durch die äquidistanten Punkte A, A_1, A_2, A_3 bezeichneten Parallelkreise befinden, und zwar soll er in dem Anfangsmomente der Bewegung seinen Standort in dem Punkt A haben, durch welchen die ursprüngliche Schwingungsebene hindurchgeht. Da bei der von uns gewählten Aufhängung kein Grund vorhanden ist, welcher eine Drehung jener Ebene bewirken könnte, so bleibt dieselbe unverändert, gleichwohl aber wird der Anblick, welcher sich dem von der rotirenden Erde mit fortgeführten Beobachter darbietet, mit jedem Augenblicke sich ändern.

Fig. 37.



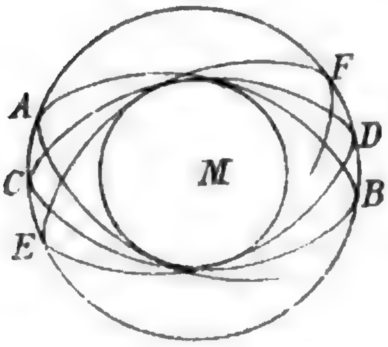
Anfänglich nämlich bemerkte derselbe blosse Hebungen und Senkungen der Pendelkugel, nachher erscheint ihm der von letzterer beschriebene Kreisbogen als eine stark excentrische Ellipse, die sich aber immer mehr einem Kreise nähert, bis ihm dann, wenn er in A_1 angelangt ist, dieser Bogen in seiner vollen Reinheit sich darstellt. Beim Durchwandern des nächsten Quadranten A_1, A_2 werden sich die nämlichen Erscheinungen wiederholen, nur in umgekehrter Reihenfolge, ein Gleiches wird für $A_2 A_3$ und für $A_3 A_4$ gelten. A', A'_1, A'_2, A'_3 stellen die Pendelkugel in den den vier Punkten A, A_1, A_2, A_3 entsprechenden grössten Elongationen dar. Wenn wir uns nun die Thatsache vergegenwärtigen, dass ja der Beobachter von seiner Ortsveränderung der Schwingungsebene gegenüber nicht weiss und fühlt, so erkennen wir, dass er nicht umhin können wird, eine fortgesetzte Drehung der Schwingungsebene um die Axe HN anzunehmen, und zwar dauert diese Drehung genau 24 Stunden.

Der Pol ist nun allerdings für uns unerreichbar, allein schon eine einfache Ueberlegung lehrt, dass die Erscheinung auch an anderen Orten auf der Erde, den einzigen Aequator ausgenommen, in qualitativ nicht verschiedener Weise eintreten muss. Seit Foucault sind Versuche dieser Art von vielen Physikern an verschiedenen Plätzen angestellt worden; es genüge, diejenigen von Secchi in Rom, von Garthe in Köln, von Schrader in Halle, von Bunt in Bristol namhaft zu machen. Selbstverständlich muss die Pendellänge eine bedeutende sein, und es bedarf umfassender Vorsichtsmassregeln, um den Erfolg des Experimentes zu sichern, wie denn nach Hansen's gründlicher Diskussion aller begleitenden Umstände [97] die geringste eigene Drehbewegung der Pendelkugel von der störendsten Wirkung ist. Damit die Abweichung der Schwingungsebene von ihrer ursprünglichen Stellung im Raume recht bald sichtbar werde, pflegt man einen Kreis, auf dessen Mittelpunkt die unten an der Pendellinse anzubringende Spitze im Ruhezustand hinweist, mit Sand zu belegen, um zu sehen, wie die von jener Spitze in die Belegung eingezeichneten radialen Linien sich immer mehr von der Anfangsrichtung entfernen.

Ehe wir an die Entscheidung der Frage herantreten, wie denn mit Veränderung der Polhöhe auch die Drehungsgeschwindigkeit der Schwingungsebene variire, haben wir erst noch die Vorfrage zu stellen und zu erledigen, ob denn überhaupt der obige Ausdruck ein korrekter sei. Ersichtlich kann derselbe kein ganz strenger sein. Denn es würde damit gesagt sein, dass die Bewegung der Pendelkugel keine stetige sei, sondern je nach Vollendung einer Schwingung sprungweise ihre Richtung ändere, und diesen Widerspruch gegen alle sonstigen Naturgesetze wird Niemand zuzugeben geneigt sein. Mit Recht hebt Röthig [98] hervor, dass diese Gewohnheit, von einer thatsächlich gar nicht existirenden festen Schwingungsebene des Pendels zu reden, zu vielen Unrichtigkeiten geführt habe und noch stets führe. Verfolgt man die von dem einem bestimmten Gesetze folgenden sphärischen Pendel beschriebene Trajektorie genauer, so überzeugt man sich sofort, dass die einzelne Oscillation nicht mit einem Kreisbogen, sondern weit eher mit einer sehr langgestreckten sphärischen Ellipse übereinstimmt. Unter dieser Voraussetzung, dass nämlich die Horizontalprojektion der Pendel-

kurve eine ebene Ellipse sei, deren grosse Axe stetig ihre Richtung ändert, hat Ordinaire de Lacologne [99] das Foucault'sche Problem einer Neubearbeitung unterzogen. Allein auch diese Annahme involvirt nur eine Annäherung an die Wahrheit; nach den unseres Wissens noch unwiderlegten Resultaten von Franz [100] ist die Bahn eine noch verwickeltere Kurve doppelter Krümmung, eine sphärische Hypotrochoide. Sie besteht aus einer Reihe zusammenhängender Blätter, deren Scheitel A, B, C, D, E, F ... (Fig. 38) einem gewissen kleinen Kugelkreise angehören, während die Aeste zugleich einen zweiten koncentrischen Kugelkreis (M) umhüllen. Unsere Figur giebt der geometrischen Haupteigenschaft treuen Ausdruck, freilich aber liegen in der Natur die Punkte A, C, E ... und B, D, F ... ganz ungleich näher an einander, und das Verhältniss des inneren zum äusseren Kreisradius, welches die Zeichnung ungefähr $= \frac{1}{2}$ annimmt, sollte eigentlich einem sehr kleinen ächten Bruche gleichkommen.

Fig. 38.



Dass angesichts dieser ziemlich verwickelten kinematischen Verhältnisse eine genügende und nur mit elementaren Hülfsmitteln arbeitende Deduktion des Gesetzes, nach welchem die Abweichung der momentanen Schwingungsebene mit der geographischen Breite in Beziehung steht, keine leichte Sache sein kann, bedarf kaum eines Beweises. Pick hat sich in dankenswerthester Weise die Mühe gegeben, nicht weniger als 13 Ableitungen, die von Jelinek, Grunert, Crahay, Marignac, Pagani, Coombe, J. J. v. Littrow, Eschweiler, Schelle, Hullmann, Friedlein-Bielmayr, Schaub und Bunt herrühren, kritisch zu prüfen [101] und nachzuweisen, welche Mängel der grossen Mehrzahl anhaften. Ebenfalls eine gute Kritik der elementaren Beweismethoden, verbunden mit einer die höhere Rechnung jedoch nicht ausschliessenden Herleitung, haben wir von Tammen [102]. Es sind im Wesentlichen blos zwei Formeln, welche in Frage stehen. Nach der von Foucault selbst herrührenden und fast allseitig acceptirten soll der Winkel ψ, um welchen nach Umfluss der Zeit t unter der Breite φ die sogenannte Schwingungsebene sich aus ihrer Anfangsstellung herausgedreht hat, einfach durch die Relation $\psi = t \sin \varphi$ gegeben sein, wobei ψ und t natürlich in der gleichen Maasseinheit auszudrücken wären. Andererseits ist auch die Gleichung

$$\sin \psi = \frac{\sin t \sin \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 2\varphi \sin^4 \frac{t}{2}}}$$

in Vorschlag gebracht worden. Schon der Umstand, dass dieselbe für $t = \pi$ den Ausschlagswinkel Null liefert, erweckt kein günstiges Vorurtheil für sie, und in der That ist dieselbe auch nur in der Weise gewonnen worden, dass man Rotationen nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte zu einer resultirenden Drehung zusammensetzte. Allein diese Zusammensetzung ist nach Poinsot's bekannten Regeln nur so lange erlaubt, als die Komponenten unendlich klein sind, und

für diesen extremen Fall stimmen auch beide Formeln völlig überein; sowie jedoch die Drehungen eine endliche Grösse besitzen, wird die Resultante nach einer ganz anderen Vorschrift bestimmt*). Die Relation $\psi = t \sin \varphi$ ist offenbar die gleiche, welche in §. 3 für die Azimutaländerung beliebiger horizontal bewegter Körper aufgestellt ward, und insoferne dürfen wir uns eines neuen Beweises überhoben betrachten. Man hat sich eben, um den völligen Einklang herzustellen, nur zu denken, dass an Stelle der Schwingungsbögen die in deren tiefstem Punkte an sie gelegten geradlinigen Tangenten treten.

Damit ist schon ausgesagt, dass unsere Formel eine blosse Approximation, wenn schon eine sehr genaue, darstellt. Pick entnimmt den Mittheilungen Bunt's über eine von ihm in der „Philosophical Institution" zu Bristol mit einem 22,73' langen und 35 Pfund schweren Bleipendel angestellte Versuchsreihe nachstehende Tabelle [104]:

Dauer der Beobachtung	Drehung der Schwingungsebene	Nach der Sinusformel berechneter Werth	Differenz
2^h $54,^m$ 4	$35,^0$ 70	$34,^0$ 19	− $1,^0$ 51
2 59, 5	35, 30	35, 19	− 0, 11
3 34, 7	43, 40	42, 09	− 1, 31
4 39, 0	52, 73	54, 70	+ 1, 97
5 41, 0	64, 80	66, 86	+ 2, 06
11 26, 3	137, 10	134, 56	− 2, 54
12 40, 5	140, 50	149, 11	+ 8, 61
13 4, 0	154, 45	153, 71	− 0, 74
13 30, 0	158, 75	158, 81	+ 0, 06
13 30, 2	155, 30	158, 85	+ 3, 55
13 44, 5	167, 50	161, 65	− 5, 85
15 1, 0	169, 20	176, 66	+ 7, 46
16 52, 0	197, 30	198, 42	+ 1, 12
37 2, 0	446, 00	435, 65	− 10, 35
38 4, 5	449, 50	447, 91	− 1, 59

*) Dem von Leonhard Euler aufgestellten Satze ertheilt W. Schell [103] folgende Fassung: „Die Folge zweier Rotationen um zwei Axen (α, a) und (β, b), welche sich in einem Punkte O schneiden, ist äquivalent einer einzigen Rotation um eine dritte Axe (γ, c), welche gleichfalls durch den Schnittpunkt O jener hindurchgeht; die drei Kanten a, b und (γ, c) bilden die Kanten eines dreiseitigen pyramidalen Raumes, in welchem die beiden Seitenebenen, die durch die Axe (γ, c) gehen, mit der dritten, durch a und b gehenden Seitenebene an den Kanten a und b Winkel bilden, welche den halben Amplituden der Rotationen um diese Axen gleich sind, und zwar liegen diese Winkel bei der Axe a, um welche die erste Rotation erfolgt, auf entgegengesetzter Seite der Ebene a b, bei der anderen Axe b auf derselben Seite, nach welcher hin die betreffende Rotation erfolgt. Die halbe Amplitude der resultirenden Rotation um die Axe (γ, c) ist gleich dem an der Axe (γ, c) liegenden Aussenwinkel des pyramidalen Raumes; die Aufeinanderfolge der Rotationen ist nicht vertauschbar." Man sieht, dass für unendlich kleine Drehungen die letztere Eigenschaft ihre Gültigkeit verliert, wie eben auch in der elementaren Statik die Reihenfolge, in welcher zusammengesetzt wird, sich gleichbleibt. Das Symbol (α, a) sagt aus, es solle das System um die ihm angehörende Gerade α rotiren, und es solle diese Gerade während der Rotation mit der Linie a des Raumes zusammenfallen.

Diese Gegenüberstellung von berechneten und empirischen Daten bestätigt zur Genüge unsere obige Behauptung, allein über die Bedeutung einer Näherungsformel geht die Sinusformel nicht hinaus. Behandelt man die Differentialgleichungen, zu welchen die Aufgabe führt, nach den allgemeinen Maassnahmen G. Kirchhoff's, so ergiebt sich nach Pieper [105] Folgendes: „Unsere Formel giebt die Ablenkung eines Pendels auf der rotirenden Erde unter der Beschränkung, dass die Schwingungsamplitude gegen die Pendellänge unendlich klein ist, und dass das Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ohne merklichen Fehler gleich Null gesetzt werden darf."

Dabei ward zudem stillschweigend vorausgesetzt, dass der Luftwiderstand belanglos sei. Im Allgemeinen ist das aber nicht der Fall, vielmehr hat Siacci gezeigt, dass alsdann die Bahnkurve mit noch weniger Recht durch eine Gerade ersetzt werden könne. Wie verwickelt die Verhältnisse sich dann gestalten, mag Siacci's Hauptsatz [106] darthun: die Projektion irgend eines Punktes der vom Foucault'schen Pendel in freier Luft beschriebenen Trajektorie ist eine gleichwinklige Spirale, deren Centrum eine der vorigen gleiche Spirale in entgegengesetztem Sinne durchläuft. Die Bahngeschwindigkeit des beschreibenden Punktes ist für beide Spiralen eine abnehmende und den Radien-Vektoren proportional.

An Stelle des gewöhnlichen Pendels kann behufs augenfälliger Demonstration der Erddrehung auch das konische treten, wie es, als Centrifugalregulator, bei unseren Dampfmaschinen dient. Die Umdrehungsdauer T eines Kegelpendels von der Länge l und dem Ausschlagswinkel α ist durch

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \alpha}{g}}$$

gegeben. Nach dieser Formel müsste es einerlei sein, ob die Schwingungen im Sinne des Uhrzeigers oder diesem entgegen vor sich giengen, allein dem ist nicht so, vielmehr hat Bravais rechnerisch und versuchsmässig nachgewiesen [107], dass sowohl in diesem wie in manchem anderen Falle [108] die Ungleichheit der Schwingungsdauer je nach dem Drehsinn auf den Umstand zurückzuführen ist, dass ja das schwingende System nicht auf einer ruhenden, sondern auf einer selbst sich drehenden Kugel befestigt ist.

Eine höchst beachtenswerthe Modifikation des Foucault'schen Experimentes ist endlich in neuester Zeit von Kamerlingh Onnes in Vorschlag gebracht worden, der zu seinen bezüglichen tiefgehenden Untersuchungen [109], eigener Angabe zufolge, durch G. Kirchhoff angeregt worden war. Es ist eigenthümlich, dass die Idee des niederländischen Mathematikers von keinem Geringeren, als von Gauss, bereits im Stillen gehegt worden war, allein das Verdienst des Erstgenannten wird dadurch nur erhöht, nicht geschmälert, denn Schering, dem die nachgelassenen Papiere des grossen Denkers zur Verfügung standen, hat aus diesen die betreffende Notiz gezogen und zugleich hinzugefügt, dass von Gauss' Absicht niemals etwas in die Oeffentlichkeit gedrungen sei [110]. Der dünne Draht des Foucault'schen Pendels wird hiernach ersetzt durch die cardanische Auf-

hängung*) eines festen Pendels. Für gewöhnlich werden die Trägheitsmomente des Pendels mit Bezug auf die beiden in der Ruhelage horizontalen Axen, der Theorie entgegen, unter sich verschieden sein, und diese Verschiedenheit birgt bereits eine Fehlerquelle in sich: bei Onnes' Anordnung des Versuches wird jene von vorn herein beseitigt, und da die Schwingungen sich stets in einem geschlossenen Raume von starker Luftverdünnung vollzogen, so konnte auch der Einfluss des Luftwiderstandes ausser Acht gelassen werden. Die unter diesen Kautelen angestellten Versuche ergaben ungeachtet der weit geringeren Pendellänge und des weit kürzeren Beobachtungs-Zeitraumes trotzdem eine grössere Annäherung an die Wahrheit, als irgend eine der bislang vorliegenden Versuchsreihen.

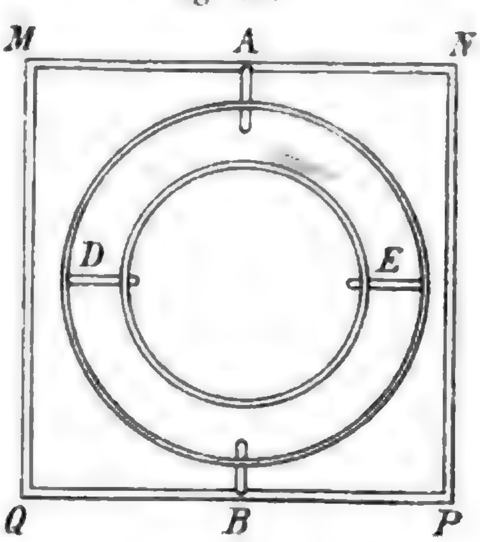
Kamerlingh Onnes hat sich indessen nicht auf den erfahrungsmässigen Theil seiner Aufgabe beschränkt, der im Gegentheil in seiner Schrift erst an späterer Stelle erscheint [111], sondern auch theoretischen Materiales bietet dieselbe eine Fülle. Von grosser Wichtigkeit ist der von ihm gefundene neue Satz, dass die Bewegung eines der Schwerkraft unterworfenen Körpers mit zwei zu einander rechtwinkligen und bei der Ruhelage in derselben Horizontalebene sich befindenden Axen, wenn die Trägheitsmomente bezüglich jener Axen unter sich und gleichzeitig dem Trägheitsmomente bezüglich der dritten Axe gleich sind, lediglich mit Hülfe der elliptischen Transscendenten vollständig bestimmt werden kann. Weiter wird aber noch bewiesen, dass die Schwingungen eines Stabes, dessen eines Ende mit einer rotirenden Axe verbunden ist, die Rotation der Erde sozusagen wiederspiegeln, und dass auch bei den sogenannten Lissajous-Kurven jener Einfluss hervortritt. Mit Einem Worte: bei sehr vielen Bewegungsvorgängen, welche mit der Axendrehung der Erde gar nichts zu thun zu haben scheinen, macht sich deren Einfluss so fühlbar, dass ihn die Rechnung und geschickte Versuche gewissermassen ad oculos zu demonstriren vermögen.

§. 5. **Aeltere Weltsysteme.** Neben den sogenannten Erscheinungen der täglichen Bewegung beschäftigte die Astronomen von je eine Doppel-

---

*) Diese Art der Aufhängung ist besonders bei Kompassen, Schiffslampen u. s. w. beliebt, weil durch sie eine nahezu vertikale, durch Stösse und Schlingern des Schiffes wenig beeinträchtigte Stellung des betreffenden Gegenstandes verbürgt ist. Wenn MNPQ (Fig. 39) die Kompassbüchse ist, so begegnet man im Innern derselben zunächst zweien Stiften A, B, welche sich diametral gegenüberstehen und einen um die Axe AB frei drehbaren Ring tragen. An diesem Ringe sind, je um 90° von A und B entfernt, die Stifte D und E befestigt, und diese tragen einen zweiten koncentrischen Ring, der sich demnach um die Axe DE drehen kann. Dieser innere Ring umschliesst den eigentlichen Kompass, resp. den mit möglichster Bewegungsfreiheit aufzuhängenden Gegenstand.

Fig. 39.



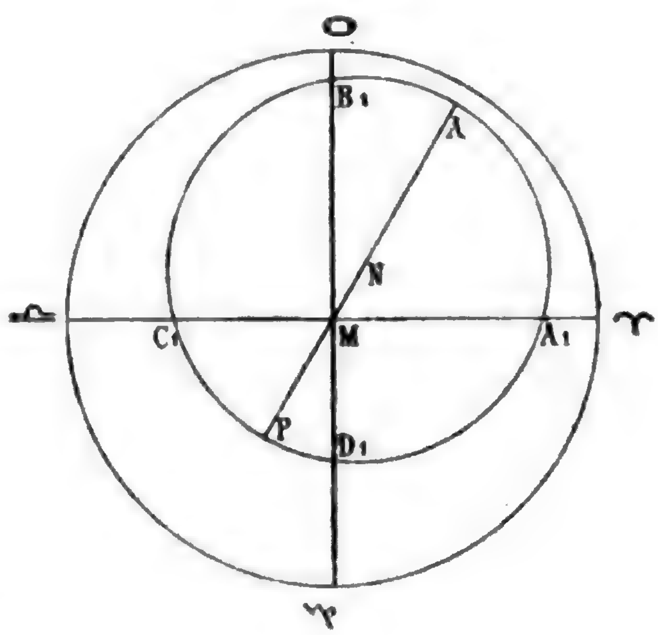
frage: Wie kommt es, dass die Durchmesser von Sonne und Mond — die übrigen Wandelsterne erscheinen dem unbewaffneten Auge nur als leuchtende Punkte — nicht zu allen Zeiten unter dem nämlichen Gesichtswinkel, also gleich gross, erscheinen? Wie kommt es zweitens, dass die Bahnen der Planeten, namentlich der oberen, so regellos verlaufen, dass Stillstände, rückläufige Bewegung und Schleifenbildung an jenen erkannt werden? Im Alterthum bezeichnete man die beiden Komplexe von Erscheinungen, von welchen hier die Rede war, kurz als die erste und zweite Ungleichheit. Von Anfang an fehlte es nicht an Theorieen, durch welche diese anscheinenden Unregelmässigkeiten als Ausfluss einiger weniger genereller Gesetze dargestellt werden sollten. Hauptsächlich vier dieser Weltsysteme spielen, vom coppernicanischen abgesehen, eine gewisse historische Rolle.

a) **Das System des Eudoxos.** Es ist dieses das älteste Weltsystem, das seinen Namen wirklich verdient; merkwürdigerweise hat ihm aber erst die neueste Zeit zu seinem Rechte verholfen. Die älteren Historiker, Montucla, Bailly, Delambre und selbst Schaubach, wussten durchaus nicht, was sie aus den allerdings unzureichenden Nachrichten machen sollten, und erst mit Ideler [112] und Cornewall Lewis [113] brachen sich richtigere Anschauungen Bahn, bis dann Schiaparelli in einer zum klassischen Muster dienenden Monographie [114], von der auch eine gute deutsche Bearbeitung existirt [115], das wahre Wesen dieser geistvollen altgriechischen Theorie völlig klar legte. Wir bemerken noch, dass Henri Martin [116] die Folgerungen Schiaparelli's zwar für die eigentlichen Planeten adoptirt, für Sonne und Mond dagegen abgelehnt hat, während dann wieder Tannery [117] mit guten Gründen für die Aufrechthaltung der ursprünglichen Ergebnisse eintrat. An diese letzteren wird sich auch unser gegenwärtiger Bericht halten. Eudoxos der Knider schuf im IV. vorchristlichen Jahrhundert sein System der homocentrischen Sphären; jeder Planet, Sonne und Mond natürlich mitinbegriffen, befand sich angeheftet an eine zur Erde koncentrische Kugel, welche sich in 24 Stunden einmal um ihre Axe dreht. Ausserdem aber dachte er sich mit jener ersten Kugel noch eine Anzahl fester Sphären verbunden, denen ebenfalls eine gleichförmige Rotationsbewegung zukam, nicht jedoch um die vorige, sondern um eine räumlich von ihr verschiedene, den speziell zu erfüllenden Bedingungen entsprechend gewählte Axe. Die beiden grossen Himmelskörper erhielten je drei, die Planeten je vier solche Kugelschalen zugeordnet, und die Aufgabe, völlige Harmonie der hiedurch eingeleiteten mit den wirklichen himmlischen Bewegungen herzustellen, reducirte sich auf ein allerdings nicht ganz leichtes Problem der sphärischen Geometrie. Eudoxos gewann so eine sphärische Kurve, die „Hippopede“, welche namentlich die sonderbaren Verschlingungen der Planetenbahnen auf das Treueste wiedergab. Die zweite Ungleichheit (s. o.) war somit in einer den Zeitbegriffen trefflich sich anpassenden Weise erklärt; für die erste Ungleichheit liess das System allerdings im Stiche, allein deren Bedeutung trat damals auch noch sehr zurück. Kalippos und Aristoteles änderten an dem Sphärensystem herum und vermehrten besonders die Anzahl der Planetenkugeln; Eudoxos reichte mit 27 aus, während sein erster Nachfolger deren 33,

sein zweiter gar 55 für nöthig erachtete. Mochte durch diese Zusätze auch manche kleinere Anomalie des Planetenlaufes richtig erklärt werden, so entstand doch allmählig eine solche Schwerfälligkeit des Aufbaues der einzelnen Bestandtheile, dass die Astronomen nach einfacheren Hülfsmitteln der Erklärung sich umsahen. Aristoteles hat durch sein wohlgemeintes Streben nach Genauigkeit am meisten dazu beigetragen, die Sphärenlehre des Eudoxos in jenen Misskredit zu bringen, aus welchem sie erst durch Schiaparelli errettet ward*).

b) **Das ptolemäische System.** Schon Pythagoras soll die Irregularitäten der Planetenbahnen für eine optische Täuschung angesehen haben, während sie Eudoxos, wie wir sahen, als etwas Reelles behandelte. Eine aus dem Theon in Beda's Werke übergangene Stelle besagt wenigstens [121]: „Pythagoras planetas neque retrogradari, neque stare, neque anomaliam aliquam esse dicebat, sed omnes in aequali spatio temporis aequaliter complere spatium locorum." Die Hypothese des excentrischen Kreises dürfte nach Schiaparelli's Ansicht schon den späteren Pythagoreern mundgerecht gewesen sein [122]. Wissenschaftlich formulirt hat sie Hipparch von Nicäa (um 130 v. Chr.), der die erste Ungleichheit für die Sonne — und ähnlich für den Mond — in folgender gewiss geistreicher Weise verdeutlichte. Der äussere Kreis in Fig. 40 repräsentirt die — in beliebiger Entfernung zu denkende — Himmelskugel, M ist deren Mittelpunkt und zugleich der Mittelpunkt der Erdkugel. Das Centrum der von der Sonne beschriebenen Kreisbahn liegt in N so, dass die Entfernung MN gleich $^1/_{24}$ des Halbmessers der Sonnenbahn wird. In P erreicht die Sonne ihr Perigäum, in A ihr Apogäum, und damit ist die Veränderlichkeit ihrer Grösse genugsam erklärt. Die beiden in M auf einander senkrechten Geraden ♈♎ und ♋♑ theilen allerdings den äusseren Kreis in seine vier gleichen

Fig. 40.



*) Auch im früheren und späteren Mittelalter fehlte es nicht an Gelehrten, die, mit den mancherlei Unwahrscheinlichkeiten der ptolemäischen Weltordnung unzufrieden, auf die Sphärentheorie zurückgreifen zu sollen glaubten. So berichtet der grosse jüdische Polyhistor Moses ben Maimon oder Maimonides, der selbst eine doppelte Buchführung liebte und als philosophischer Theoretiker dem Eudoxos, als praktischer Astronom aber dem Ptolemäus huldigte [118], in seinem „Führer der Irrenden" nach Munk's Uebersetzung [119]: „Dès le commencement du XII^e siècle, les astronomes arabes d'Espagne reconnurent ce qu'il y avait d'invraisemblable dans cette hypothèse, par laquelle Ptolémée cherche à expliquer certaines anomalies dans le mouvement de diverses planètes. Ibn-Badja s'éleva le premier contre l'hypothèse des épicycles, et Ibn-Tofeil rejeta à la fois les excentriques et les épicycles . . . Un peu plus tard Abou-Is'hak al Bitrôdji, ou Alpetragius, essaya de substituer d'autres hypothèses à celle de Ptolémée." Auch der Reformversuch des Italieners Fracastor [120] lenkte wesentlich in die alte Bahn der Homocentriker ein.

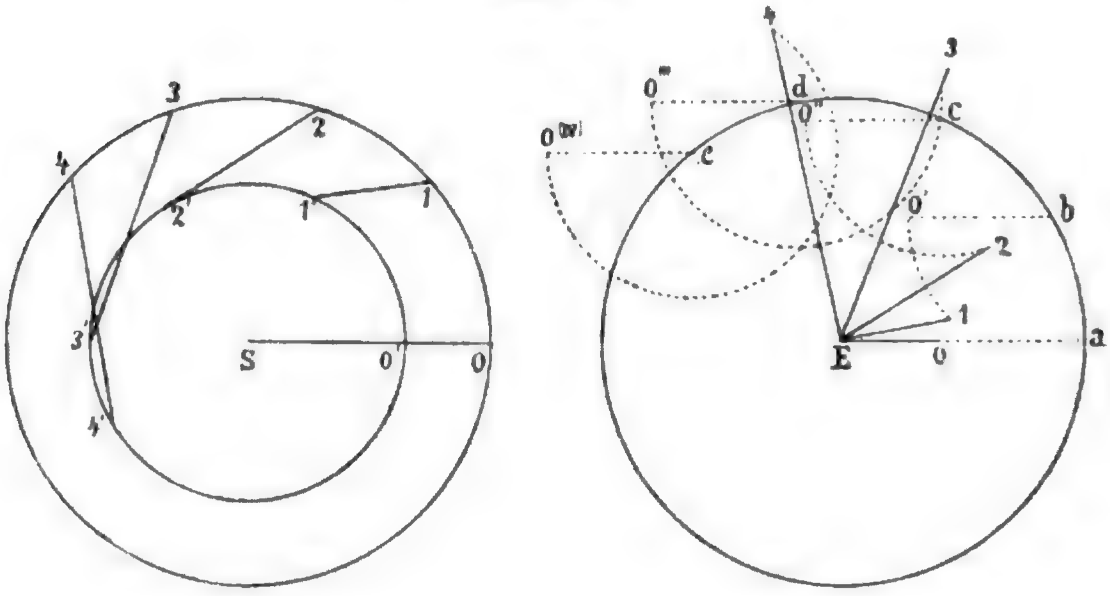
Quadranten, dagegen sind die vier Kreisbögen A_1B_1, B_1C_1, C_1D_1, D_1A_1 ersichtlich ungleich, und zwar gelten die Proportionen:

$$\text{arc } A_1B_1 : \text{arc } B_1C_1 : \text{arc } C_1D_1 : \text{arc } D_1A_1 = 94\tfrac{1}{2} : 92\tfrac{1}{2} : 88 : 90;$$

Hipparch hatte nämlich ermittelt, dass auf den Frühling $94\frac{1}{2}$, auf den Sommer $92\frac{1}{2}$, auf den Herbst 88 und auf den Winter 90 Tage treffen. Einen trefflichen Auszug aus den Betrachtungen, durch welche Hipparch und Ptolemäus (im III. Buche seines „Almagest") zu der beschriebenen Konstruktion geführt wurden, hat R. Wolf [123] gegeben.

War so der ersten Ungleichheit Genüge gethan, so war damit doch noch keineswegs die Basis für die Erklärung jener auffälligen Abweichungen von der reinen Kreisbahn gewonnen, mit denen besonders Ptolemäus bei seinen feineren Untersuchungen über den Mondlauf zu rechnen hatte, als er zu einer bereits bekannten Ungleichheit noch eine zweite hinzugefunden hatte. „Derselbe war daher genöthigt," sagt der verdienstvolle Geschichtschreiber der Sternkunde [124], „die

Fig. 41.



a. b.

Arbeit noch einmal an die Hand zu nehmen, und zog nun vor, den excentrischen Kreis zur Darstellung der neuen Ungleichheit aufzusparen, für die frühere, oder die sogenannte Gleichung, dagegen ein Hülfsmittel zu verwerthen, das Apollonios schon vor alten Zeiten zu solchem Zwecke vorgeschlagen, aber Hipparch entweder gar nicht, oder höchstens probeweise gebraucht hatte, weil es ihm nicht naturgemäss erschien." Fig. 41, die wir einer Darstellung H. J. Klein's [125] entlehnen, versinnlicht das Wesen der epicyklischen Bewegung zugleich mit der natürlicheren Erklärung, durch welche Coppernicus jene theilweise — durchaus nicht gänzlich — ersetzte. Fig. 41a entspricht dem coppernicanischen, 41b dem ptolemäischen System, E ist die Erde, S die Sonne. Stände die Erde fest, so wäre abcde der sogenannte Deferenzkreis, auf dessen Peripherie das Centrum des Epicykels oder Beikreises mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortrückt, während der Planet wiederum gleichförmig den Umfang des Beikreises durchläuft. Das Centrum befinde sich in a, der Planet in o, Eo ist die Gesichtslinie. Nach der Zeit t ist das Centrum bis b gekommen, der Planet hat,

wenn $b0' \parallel E0$ ist den Bogen $0'1$ beschrieben, so dass nunmehr E1 die Gesichtslinie geworden ist. Ebenso sei ferner $bc = cd = de = ab$ und $c0'' \parallel d0''' \parallel e0^{(IV)} \parallel E0, 0''2 = 2 . 0'1, 0'''3 = 3 . 0'1, 0^{(IV)}4 = 4 . 0'1$; unter diesen Umständen sind E2, E3, E4 die jedesmal von der Erde nach dem Wandelsterne gezogenen Gesichtslinien. Fig. 41a dagegen weist als den inneren der beiden koncentrischen Kreise die Erdbahn, als den äusseren die Bahn eines oberen Planeten, etwa des Mars, auf. Während die Erde nach und nach die Punkte $0'$, $1'$, $2'$, $3'$, $4'$ erreicht, steht der Planet resp. in 0, 1, 2, 3, 4, die Strecken $0'0$, $1'1$, $2'2$, $3'3$, $4'4$ stellen mithin nach Lage und Grösse die Gesichtslinien vor. Durch geeignete geometrische Verzeichnung kann man es aber, wie auch in der Figur der Fall, dahin bringen, dass

$$E0 \# 0'0,\ E1 \# 1'1,\ E2 \# 2'2,\ E3 \# 3'3,\ E4 \# 4'4$$

wird, und damit ist der Beweis geliefert, dass unter dem ausschliesslich formal-mathematischen Gesichtspunkte beide Auffassungen gleich gut zum Ziele führen. Ja, Möbius hat später gezeigt [126], dass wir auch heute noch mit der epicyklischen Bewegung mehr zu thun haben, als wir meinen, indem jede Entwickelung in trigonometrische Reihen, welche nach Sinus und Cosinus der Vielfachen eines Winkels fortschreiten, ihre geometrische Interpretation eben in dieser Art der Bewegung findet.

Ptolemäus setzte, wie schon bemerkt, in die Mitte des Universums die Erde und liess um dieselbe die zu seiner Zeit bekannten Wandelkörper in folgender Ordnung kreisen: Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn. Excentrische Kreise und Epicykel glichen alle Unregelmässigkeiten der Bahnen aus; wo Ein Beikreis nicht hinreichend erschien, verlegte man den Planeten in einen zweiten, für welchen der erste Epicykel nun selbst wieder zum Deferenten wurde. Das mechanische Paradoxon, dass ein fester Körper sich um die absolute Leere herum bewegen sollte, fiel in der Zeit vor Galilei wenig auf, der geometrische Schönheitssinn der Alten aber war befriedigt. Nur die mehr philosophisch angelegten Geister vermochten an den sich stetig häufenden Epicykeln keine Freude zu empfinden, und König Alfons von Kastilien that deswegen den von seinen politischen Feinden später so sehr gegen ihn ausgenützten Ausspruch [127], er würde, wenn er von dem Weltschöpfer um seine Meinung befragt worden wäre, den Ausbau des Kosmos in einfacherer Weise vollzogen haben.

c) **Das ägyptische System.** Merkur und Venus entfernen sich bekanntlich immer nur wenig von der Sonne und treten niemals zu dieser in Opposition. Diess war den Alten bereits aufgefallen, und einer von Schiaparelli aufgestellten, sehr plausiblen Hypothese zufolge war es bereits Herakleides Pontikos, der den beiden genannten Planeten eine Sonderstellung anwies und sie zu speziellen Trabanten der Sonne machte, so dass sie also zunächst um diese und erst mit ihr auch um die Erde kreisen sollten [128]. Eine missverstandene Stelle des Macrobius brachte es zuwege [129], dass man diese Anordnung der Planetenbahnen mit dem Namen des ägyptischen Weltsystemes belegte. Am meisten Anklang scheint dasselbe bei den Römern, bei Terentius Varro, Vitruvius, Marcianus Capella u. s. w. gefunden zu haben: der letztgenannte Kompilator drückt sich darüber aus, wie folgt [130]:

„Nam Venus Mercuriusque licet ortus occasusque cotidianos ostendant, tamen eorum circuli terras omnino non ambiunt, sed circa Solem laxiore ambitu circulantur denique circulorum suorum centron in Sole constituunt.“ Narducci hat mit gewohntem Fleisse die Aussprüche der Historiker über diese Stelle gesammelt [131], von welcher soviel feststeht, dass sie sowohl auf Coppernicus selbst anregend, als auf Tycho Brahe sogar bis zu einem gewissen Grade bestimmend eingewirkt habe.

d) **Das tychonische System.** Dieses System ist, wie aus dem unmittelbar Vorhergehenden erhellt, in Wahrheit nur eine Verallgemeinerung und Weiterbildung des sogenannten ägyptischen. Drei Gründe mögen auch den dänischen Astronomen, der als Beobachter ungleich grösser dasteht, wie als selbstständiger Denker, dahin vermocht haben, der Weltordnung des sonst von ihm so hoch verehrten Coppernicus seine Zustimmung zu versagen: einmal das vielleicht etwas zu sehr emporgeschraubte Gefühl eigener Werthschätzung, sodann das Bestreben, mit den kirchlichen Dogmen in keinen Konflikt zu gerathen, und dann auch wohl das an sich richtige Empfinden, dass in dem ägyptischen Systeme ein ganz richtiger Kern enthalten sei. Indem sonach Tycho um die unbeweglich stehende Erde zuerst den Mond und dann die Sonne, um diese letztere aber sämmtliche Planeten in der Reihenfolge Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn sich umwälzen liess [132], handelte er zwar als Sohn seiner noch immer in Vorurtheilen befangenen Zeit, aber keineswegs so thöricht, wie man schon öfter in populären Schilderungen hat glauben machen wollen. „Momentane Berechtigung als Uebergangssystem,“ das sind die Worte R. Wolf's [133], „hatte damals das tychonische System allerdings, während dasjenige, welches fast ein Jahrhundert später Riccioli aufstellte, und bei welchem auch noch Jupiter und Saturn Trabanten der Erde bleiben sollten, besser ganz unaufgestellt geblieben wäre, da ihm damals, nachdem Kepler bereits vor Jahrzehnten das coppernicanische System purificirt hatte, jede Bedeutung und Berechtigung abgieng“. Man vergleiche auch die von Gerechtigkeitsgefühl getragene Apologie von Schinz [134]. Allerdings hat Raimarus Ursus aus Dithmarsen in einer die gröbsten Verdächtigungen gegen Brahe schleudernden Zuschrift, welche er dem Landgrafen Moritz von Hessen widmete [135], die Behauptung aufgestellt, das tychonische Weltsystem rühre eigentlich von ihm her, und jener habe ihm dasselbe mit Unterstützung des landgräflichen Hofmathematikers Rothmann gestohlen, indessen vermochte er diesen Vorwurf keineswegs sicher zu begründen, und es scheint ihm als zweifelloses Verdienst blos Das zu verbleiben [136], dass er — wie Longomontan und Origanus mit dem coppernicanischen (s. o. §. 1) — so mit dem tychonischen Systeme den Begriff einer sich um ihre Axe drehenden Erde verband.

§. 6. **Die heliocentrische Reform und deren Begründung.** Die Quintessenz des coppernicanischen Systemes kann man nicht schärfer und zugleich umfassender ausziehen, als es durch dessen Begründer selbst in dem uns bereits bekannten „Commentariolus“ geschehen ist. Sechs „Axiome“ werden daselbst aufgestellt, die wir nach Prowe's Verdeutschung [137] hier reproduciren: „I. Für alle Himmelskörper

und deren Bahnen giebt es nur Einen Mittelpunkt. II. Der Mittelpunkt der Erde ist nicht der Mittelpunkt der Welt, sondern nur der Mittelpunkt der Mondbahn und der Schwerpunkt aller Dinge auf der Erde. III. Alle Planeten umkreisen die Sonne, die im Mittelpunkte aller Bahnen steht; es ist deshalb um die Sonne der Mittelpunkt des Weltalls zu setzen*). IV. Das Verhältniss der Entfernung der Sonne und der Erde zur Weite des Firmamentes ist geringer, als das Verhältniss des Halbmessers der Erde zur Entfernung der Sonne, und zwar in solchem Grade, dass das Verhältniss zur Höhe des Firmamentes gar nicht anzugeben ist. V. Was wir von Bewegungen am Himmel sehen, rührt nicht von einer Bewegung des Himmels her, sondern ist eine Folge der Bewegungen der Erde. Die Erde nämlich mit ihrer nächsten Umgebung**) dreht sich einmal täglich um sich selbst ganz herum, indem ihre beiden Pole dabei unverändert ihre Richtung beibehalten, das Firmament aber und die letzten Himmelsräume ganz unbewegt bleiben. VI. Was wir von Bewegungen bei der Sonne sehen, das ist nicht eine Folge ihrer Bewegung, sondern rührt her von der Bewegung der Erde und ihrer Sphäre***). Mit ihnen umkreisen wir die Sonne, gleichwie jeder andere Planet. Die Erde hat sonach eine mehrfache Bewegung. Was uns an den Planeten als ein Zurückweichen und Vorschreiten erscheint, das ist nicht Folge ihrer Bewegung, sondern rührt von der Bewegung der Erde her. Die Bewegung der Erde allein genügt sonach, um die Mannigfaltigkeit und Verschiedenheit der Erscheinungen am Himmel zu erklären."

Direkte und schlagende Beweise für die Richtigkeit dieser Thesen waren nach damaliger Sachlage, wie wir vorher (in §. 1) schon bei der Rotationsfrage sahen, noch nicht zu erbringen, das sah Coppernicus selbst ganz wohl ein. Er konnte sich darauf berufen, dass sein System (s. o. §. 5 b) die Planetenbahnen und deren Abweichungen ganz ebenso gut erkläre, wie das ptolemäische, dass ein Gleiches auch für die Jahreszeiten gelte, und dass dabei seine Erklärung für den mit den Grössenverhältnissen des Weltalls Vertrauten etwas ungleich Naturgemässeres und Ungezwungeneres besitze, wie irgendwelche andere.

---

*) Im Originale: „ideoque circa Solem esse centrum mundi".

**) Aehnlich, nur etwas unmathematischer und gerade deshalb in diesem Falle überzeugender drückte dieses Faktum Aristarch aus, der einzige Grieche, der als wahrer und ächter Vorläufer des Coppernicus in jedem Sinne gelten kann. Seine bezügliche Schrift ist allerdings nicht auf uns gekommen; was diesen Namen trägt, ist ein zur Irreführung der Gelehrten zurechtgemachtes Falsifikat Roberval's [138], aber Archimedes berichtet im Eingange zu seiner „Sandrechnung" darüber mit hinlänglicher Genauigkeit (wir citiren nach Heiberg's lateinischer Version [139]): „Aristarchus Samius libros quosdam edidit, qui hypotheses inscribuntur, in quibus ex iis, quae supponuntur, adparet, mundum multiplicem esse, quam supra diximus. Supponit enim, stellas fixas solemque immobilia manere, terram vero circum solem in medio cursu positum secundum circuli ambitum circumvolvi, sphaeram autem stellarum fixarum circum idem centrum positam, circum quod sol positus sit, tantam esse, ut circulus, secundum quem terram circumvolvi supponit, eam rationem habeat ad distantiam stellarum fixarum, quam habeat centrum terrae ad superficiem."

***) Man beachte, dass sich Coppernic sehr wohl darüber klar war, wie auch die Atmosphäre der Erde an deren Umdrehung theilnehmen müsse. Den Gegnern entgieng dieser wichtige Zusatz, und so liessen sie sich zu den ungereimtesten Gegengründen verleiten, wie z. B. dass der Durchgang der Erdkugel durch die stille stehende Luft einen Sturmwind hervorrufen müsse, u. dgl. mehr.

Hiebei aber musste es einstweilen sein Bewenden haben, und es vergiengen Jahrzehnte, ja Jahrhunderte, bis astronomische Beweismittel von wirklich überzeugender Kraft an die Hand gegeben werden konnten. Rein tellurisch kann die Bewegung der Erde um die Sonne nicht nachgewiesen werden; ein Versuch, das Pendel auch nach dieser Richtung hin zu verwerthen, ist zwar von J. W. H. Lehmann [140] gemacht worden, doch hat Kamerlingh Onnes (s. o. §. 4) in dessen Rechnungen fundamentale Fehler aufgedeckt. Was aber die astronomischen Beweise für den zweiten Hauptsatz Coppernic's anlangt, so können deren, wenn einige minder wichtige, wo nicht zweifelhafte unterdrückt werden, im Wesentlichen drei auf Berücksichtigung Anspruch machen.

a) **Die Phasen der Planeten.** Es scheint, dass Coppernicus bereits die Nothwendigkeit erkannt hatte, es müssten auch die Planeten, ähnlich wie der Mond, je nach ihrer Stellung zur Erde und Sonne wechselnde Lichtgestalten aufweisen. Das unbewaffnete Auge konnte hierüber keinen Entscheid treffen; kaum aber hatte Galilei das neuentdeckte Fernrohr gegen den Himmel gerichtet, so erkannte er auch sofort die Phasen der Venus. Am 11. December 1610 legte er seinen Fund in einem Anagramm nieder, am 1. Januar des nächstfolgenden Jahres gab er dazu öffentlich die Lösung: „Cynthiae figuras aemulatur mater amorum“ [141]. Die Phasen des Mars*) und Merkur nahm zuerst Fontana etwa dreissig Jahre später wahr, und gleichzeitig erwähnte ihrer auch der Schweizer Hirzgarter in seiner „Detectio dioptrica corporum planetarum verorum“ [142]. Galilei sprach sich auch gleich anfangs in seinem Briefe an Christoph Clavius dahin aus, dass nunmehr der Thatbeweis für die Richtigkeit der coppernicanischen Kosmologie angetreten werden könne, doch machte seltsamerweise diese augenfällige Demonstration auf die Zeitgenossen minderen Eindruck als der in der Entdeckung der Jupiterstrabanten liegende Wahrscheinlichkeitsbeweis, durch welchen dargethan wurde [143], dass nicht nothwendig alle Gestirne gerade um die Erde als das prästabilirte Centrum des Weltganzen sich herumbewegen müssten.

b) **Die Parallaxe der Fixsterne.** Unter der Parallaxe eines Fixsternes hat man den Winkel zu verstehen, unter welchem einem auf dem betreffenden Sterne (richtiger in dessen Mittelpunkt) befindlichen Auge der etwa 40 000 000 geographische Meilen oder 149 000 000 Kilometer betragende Durchmesser der Erdbahn erscheint. Befände sich der Stern in unendlich grosser oder doch in einer menschlichen Messungsmethoden absolut unzugänglichen Entfernung, so wären zwei etwa zur Zeit des Winter- und Sommersolstitiums nach ersterem gezogene Gesichtslinien in aller Strenge parallel; so hatte sich Coppernicus (s. o. seine These IV) die Sache gedacht und damit klugerweise jeden Einwand vernichtet, der sonst aus dem Fehlen von Fixsternparallaxen nothwendig gegen sein System hergeleitet werden musste. Aber schon

---

*) Nicht selten findet man über die Sichelgestalten der Wandelsterne ungenaue Angaben, aus denen hervorzugehen scheint, es könne diese Erscheinung nur bei den unteren Planeten statthaben. Der Theorie nach müssen sämmtliche Planeten Phasen erkennen lassen, allein bei den entfernteren wird der beschattete Theil sehr schmal und deshalb nicht mehr gut wahrnehmbar.

Galilei — wir folgen in der nachstehenden kurzen Geschichte des Kampfes um die Parallaxe den Angaben R. Wolf's [144] und J. v. Littrow's [145] — begnügte sich bei diesem negativen Standpunkte nicht mehr, und nunmehr begann ein emsiges Ringen geschickter Observatoren, den ungemein kleinen Winkel, um welchen es sich allein handeln konnte, durch möglichste Verschärfung der Beobachtungswerkzeuge wirklicher Messung zu unterstellen. Tycho Brahe, Riccioli, Hooke, Flamsteed und Römer betheiligten sich erfolglos an diesem Wettkampfe, ganz sicher glaubte der Irländer Brinkley eine Reihe von Parallaxen gefunden zu haben, allein Pond's mauerfest auf ihr Ziel gerichtete Riesenfernrohre lieferten dem widersprechende Resultate, und auch Bradley's durch Jahre musterhaft fortgeführte Beobachtungsreihe förderte zwar in anderer Weise die Wissenschaft (s. u. c.), lieferte aber nicht Das, was sie eigentlich zu liefern bestimmt war. Auch Callandrelli's Hoffnung, für Wega in der Leyer eine sichere Parallaxe von 44″ eruirt zu haben, erwies sich Bessel's einlässlicher Prüfung gegenüber als illusorisch. Endlich bahnte William Herschel's Idee, nicht sowohl die Parallaxe eines Sternes direkt, sondern die Parallaxendifferenz zweier optischer Doppelsterne zu bestimmen, einen wirklichen Fortschritt an, und es gelang Bessel [146], die Jahresparallaxe von 61 Cygni = 0″,348 wirklich zu ermitteln. Seitdem haben W. und O. v. Struve, Henderson, Maclear, Krüger, Peters, Auwers u. a. Fixsternparallaxen in grösserer Menge gemessen, wie folgende kleine Zusammenstellung darthun mag: α Bootis 0″,13; N. 1830 des Sternenverzeichnisses von Groombridge 0″,14; Wega 0″,15, α Ursae minoris (Polarstern) 0″,18; Sirius 0″,23; α Centauri 0″,92. Der letzte Fixstern steht unserem Sonnensystem am nächsten. Ob nun auch die neueren Methoden, die Gyldén [147] und Ch. Dufour [148] — dieser mittelst des Spektroskopes — zum Behufe der Parallaxenschätzung angegeben haben, das vorhandene Material wesentlich vermehren werden, muss dahin gestellt bleiben: der strikte mathematische Beweis dafür, dass die Erde alljährlich einen Kreis um die Sonne beschreibt, ist bereits durch die bislang ermittelten Thatsachen als geleistet anzusehen.

c) **Die Aberration des Lichtes.** Es war soeben von Bradley's Bemühungen um die Parallaxenbestimmung die Rede. Seit 1725 beobachtete dieser treffliche Mann, der im Verein mit Brahe und Bessel das Dreigestirn repräsentirt, durch welches die praktische Astronomie auf ihren heutigen Standpunkt erhoben wurde, im Verein mit Molyneux den Stern γ Drakonis an einem Zenithsektor, einem Instrumente, welches nur in einem ganz kleinen Spielraum zu beiden Seiten des Scheitelpunktes, dort aber mit äusserster Genauigkeit Winkel zu messen gestattete*). Nachdem die Beobachtungen einige Jahre hindurch fortgesetzt worden waren, stand allerdings soviel ausser Zweifel, dass der genannte Fixstern alljährlich eine kleine Ellipse an der Himmelskugel beschrieb, und dieser Umstand schien auf den ersten Blick zu Gunsten einer vorhandenen Parallaxe zu sprechen, wie Fig. 42 des

*) Unsere Darstellung lehnt sich hier der Hauptsache nach an diejenige J. v. Littrow's [149] an, welche den Vorzug besonderer Uebersichtlichkeit, namentlich hinsichtlich der Figuren, besitzt.

Näheren nachweist. In dieser stellt EBKA den Durchschnitt der bis zur scheinbaren Himmelskugel ausgedehnten Ekliptik mit ersterer, L den Nordpol der Ekliptik, C den Ort der Sonne vor. $e_1 e_3$ ist die grosse, $e_2 e_4$ die kleine Axe der Ellipse, welche die Erde innerhalb der Ebene EBKA jährlich beschreibt*); die augenblicklichen Bewegungsrichtungen sind durch Pfeile angedeutet. Die Ellipse $e_1 e_2 e_3 e_4$ bestimmt mit einem Sterne S, der ihr nahe genug ist, um überhaupt eine Parallaxe hervortreten zu lassen, den Mantel eines schiefen Kegels, dessen Ergänzungskegel die Himmelskugel in einer sphärischen Ellipse durchschneiden wird, so zwar, dass den Kardinalpunkten e_1, e_2, e_3, e_4 auch wiederum die Kardinalpunkte s_1, s_2, s_3, s_4 entsprechen, während auch die Mittelpunkte c und s mit der Spitze S beider Kegel in ein und derselben Geraden liegen. So also hätte die parallaktische Ellipse sich darstellen müssen, allein in Wirklichkeit machte Bradley eine ganz

Fig. 42.

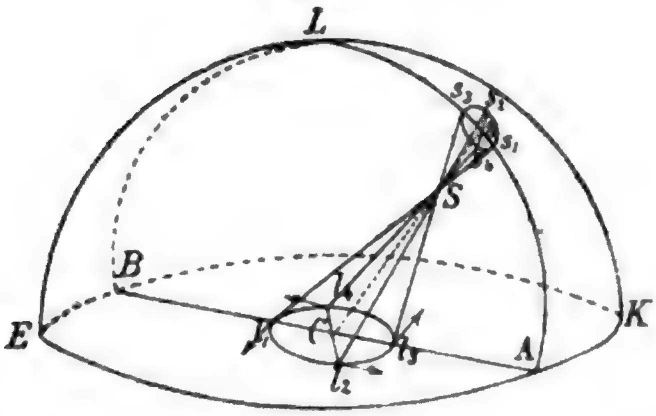
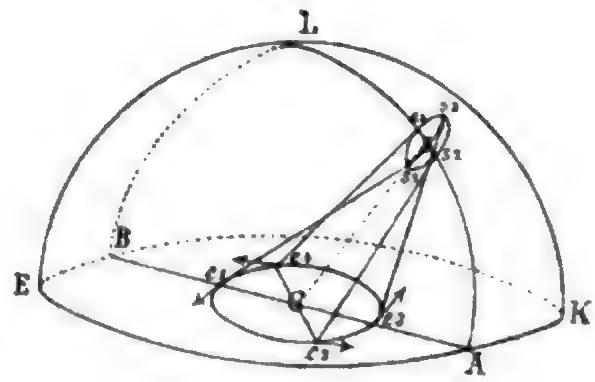


Fig. 43.



andere Wahrnehmung, diejenige nämlich, welche Fig. 43 veranschaulicht. Von e_1 aus sah man den Stern in s_1, von e_2 aus in s_2, von e_3 aus in s_3 und von e_4 aus in s_4; die vier Punkte s_1, s_2, s_3, s_4 lagen allerdings auch wieder auf dem Umfang einer sphärischen Ellipse vom Mittelpunkt s, aber diessmal fiel deren kleine Axe $s_2 s_4$ in die nämliche Ebene mit der grossen Axe $e_1 e_3$ der Erdbahnellipse: die Ellipse von vorhin war gewissermassen um 90° gedreht worden. Bradley entdeckte als Ursache dieser unerwarteten Abweichung die sogenannte Aberration des Lichtes. Seit Römer gefunden hatte**), dass die Fortpflanzung des Lichtes nicht instantan erfolge, sondern eine gewisse

---

*) Wir hoffen wegen der kleinen Inkonsequenz leicht Indemnität zu erhalten, die allerdings darin liegt, dass schon hier die Erdbahn als Ellipse behandelt wird, während erst in §. 8 diese ihre Eigenschaft näher erörtert werden kann. Rücksichten auf den Zusammenhang liessen vor diesem Fehler nicht zurückschrecken, der wohl um so weniger in's Gewicht fällt, als sich ja das vorliegende Buch nicht an gänzlich unvorgebildete Leser wendet.

**) Eine sehr interessante Studie über die Umstände, welche Römer's Gedankengang leiteten, als er aus seinen Beobachtungen des Jupitersystemes auf eine endliche Lichtgeschwindigkeit schloss, verdankt man Wernicke [150]. Es wird darin namentlich auch gezeigt, wie der Einfluss des mächtigen und von seiner ersten Geneigtheit für Römer's Entdeckung (einmal sagte er selbst, „que la lumière emploie quelque temps à venir du satellite jusqu'à nous") rasch zurückgekommenen Dominic Cassini hinreichte, die maassgebenden Kreise der grossen Neuerung zu verschliessen und diese selbst so vollkommen in den Hintergrund zu drängen, dass erst durch Bradley wieder Römer's Namen zu der verdienten Ehre verholfen werden musste.

Zeit benöthige — nach W. v. Struve braucht ein von der Sonne ausgehender Lichtimpuls 497,78 Sekunden, bis er auf der Erde bemerkbar wird —, hatte man auch diesen Faktor in die Berechnungen aufzunehmen gelernt. Bradley sagte sich, dass ein Stern nicht genau an dem Orte des Himmels gesehen wird, an welchem er sich thatsächlich befindet, sondern dass diese wahre Gesichtslinie um einen Aberrationswinkel aus ihrer Richtung abgelenkt werden muss, der gleich arc tang $\frac{e}{l}$ zu setzen ist, wenn e die tangentiale Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, l die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Sternenlichtes bedeutet. W. v. Struve bestimmt diese Aberrationskonstante [151] zu 20″,4451. Nunmehr sind die Besonderheiten der Fig. 43 leicht zu erklären. Der Licht aussendende Punkt wird immer im Sinne der Erdbewegung um den kleinen Aberrationswinkel nach vorwärts geschoben und muss so im Laufe eines Jahres eine kleine ellipsenförmige Kurve zurücklegen, deren Mittelpunkt s der wahre heliocentrische Ort des Sternes ist; die grösste Länge fällt in die Opposition, die kleinste in die Konjunktion. Es leuchtet ein, dass diese an bestimmte Periodicitätsgrenzen gebundene Ortsveränderung der Fixsterne mit nicht minderem Rechte, wie die parallaktische Verschiebung, einen direkten und unumstösslichen Beweis für den zweiten Hauptsatz des coppernicanischen Weltsystemes involvirt, denn wenn die Erde feststünde oder sich blos um ihre Axe drehte, könnte die Abirrung der Lichtstrahlen nicht für uns sinnenfällig werden.

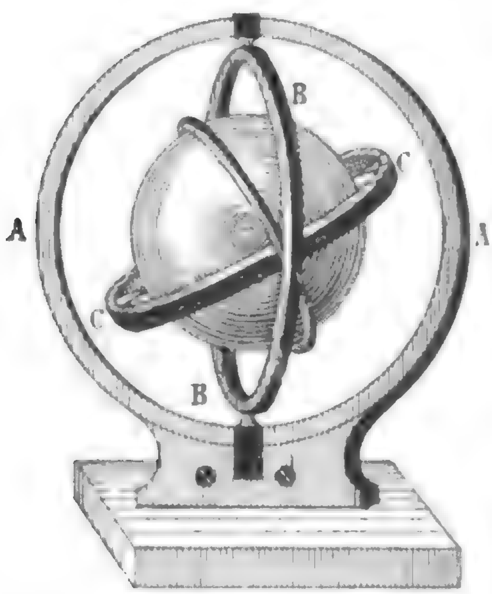
§. 7. **Der Axen-Parallelismus.** Ausser dem Umschwung um die Axe und der Umwälzung um den Centralkörper hatte Coppernicus der Erde noch eine dritte Bewegung zuschreiben zu müssen vermeint. Aus der regelmässigen Wiederkehr der Jahreszeiten, ebenso wie aus anderen Gründen, war zu schliessen, dass die Erdaxe sich im Raume stets parallel bleibe und im Laufe eines Jahres einen schiefen Cylindermantel, mit der Erdbahn als Leitlinie, beschreibe — eine gewisse dem Coppernicus wohlbekannte Durchbrechung dieses Gesetzes, von welcher später die Sprache sein wird, ist hier einstweilen ausser Acht gelassen. Dass diess sich von selbst so mache, erschien ihm unglaublich, was nach dem damaligen Zustande der Mechanik gewiss sehr verzeihlich ist, und so ersann er jenen dritten, von ihm als Deklination bezeichneten Bewegungsmodus, durch welchen die Axe in ihrer unveränderten Neigung gegen die Ekliptik erhalten werden sollte. „Es folgt also," so lautet seine Erklärung [152], „die dritte Bewegung der Deklination, ebenfalls im jährlichen Kreislaufe, aber rückläufig, d. h. entgegengesetzt der Bewegung des Mittelpunktes. Und so kommt es durch beide, einander fast gleiche und entgegengesetzte Bewegungen, dass die Axe der Erde, und also auch der Aequator, als der grösste Parallelkreis, fast nach derselben Himmelsgegend gerichtet bleiben, gleich als ob sie unbeweglich wären."

Eine interessante Monographie über diesen Irrthum des grossen Astronomen, dessen Quelle und Geschichte, besitzen wir von Menzzer [153], der in seiner Verehrung gegen Coppernicus bei diesem Anlass allerdings doch etwas zu weit geht. Jedenfalls war das unbestrittene Dasein der Deklinationsbewegung nur ein sehr kurzes. Nach Wolf

[154] hätte nämlich bereits Rothmann dieselbe als überflüssig, Galilei aber geradezu als fehlerhaft bezeichnet. Eine völlig korrekte Stellung nahm von Anfang an der umsichtige Gassendi zu dieser Frage ein, die er in seiner „Institutio astronomica“ — nach Menzzer's Verdeutschung [155] — folgendermassen beurtheilt: „Die Bewegung der Deklination ist jenes Abwenden der Erdaxe von ihrer mit der Axe der Ekliptik parallelen Lage, und das in allen Stellungen stattfindende Erhalten einer mit sich selbst parallelen Richtung, wodurch sie mit der Axe der Welt immer parallel bleibt: also könnte diese Bewegung nicht sowohl eine wirkliche neue Bewegung, als vielmehr ein Gesetz der beiden anderen Beobachtungen genannt werden. Sie kann nämlich in derselben Weise aufgefasst werden, in welcher die Axe eines Kinderkreisels, während er sich auf einer Ebene dreht und mit seiner Spitze verschiedene Kreise beschreibt, sich selbst parallel bleibt oder in senkrechter Lage verharrt.“

Gassendi hatte völlig Recht mit seiner Meinung, dass bei einer Vereinigung von Rotation und Revolution für einen homogenen sphärischen Körper der stete Parallelismus der Axe sich von selbst einstellen müsse, und auch das von ihm zum Vergleiche herangezogene Beispiel des tanzenden Kreisels war ein sehr glücklich gewähltes. Die theoretische Mechanik lehrt, dass jede freie Rotationsaxe (vgl. §. 2) diese Eigenschaft hat, und es fehlt, vom Kreisel*) abgesehen, nicht an Vorrichtungen, durch welche der Parallelismus in der augenfälligsten Weise dergethan wird. Th. Gilbert sammelte Alles, was auf diesem Gebiete geleistet worden, in einem von uns vielfach benützten Aufsatze [156], und wenn er dabei auch nicht-deutsche Leistungen etwas mehr, als uns recht dünkt, in den Vordergrund stellt, so ist uns doch gerade diese Sammlung schwerer zugänglicher Materialien werthvoll gewesen. An erster Stelle erscheint das von seinem Erfinder in einer eigenen Schrift [157] beschriebene Bohnenberger'sche Maschinchen (Fig. 44). Ein Kreisring A ist fest auf einem Postamente befestigt; in zwei sich diametral entgegenstehenden Punkten ist ein zweiter, um eine vertikale Axe drehbarer Kreisring B an ersterem angebracht, und er selbst trägt wieder in ähnlicher Weise den um eine horizontale Axe frei drehbaren Kreisring C, innerhalb dessen eine Kugel in rasche Drehung versetzt werden kann, sei es, dass man um ihre

Fig. 44.



*) Englische Mechaniker haben es in der Verfertigung von Kreiseln zu so hoher Vollendung gebracht, dass die freie Axe derselben mehrere Minuten lang eine genau vertikale und also die auf der Axe senkrechte Oberfläche ebensolang eine genau horizontale Lage annahm. Gab man dieser Oberfläche einen Spiegelschliff, so konnte man sich derselben mit demselben Rechte und auch mit derselben Beruhigung als eines künstlichen Horizontes beim Nehmen von Polhöhen und bei anderen astronomischen Geschäften bedienen, wie man sonst zu diesem Zwecke den Spiegel einer ruhenden Quecksilbermasse zu verwenden pflegt.

Axe eine Schnur wickelt und diese rasch abzieht, sei es, dass man das ganze Maschinchen auf die Scheibe eines Centrifugalapparates stellt. Solange die Kugel sich noch in Ruhe befindet, besitzt sie die der cardanischen Aufhängung entsprechende Bewegungsfreiheit und lässt sich durch den leisesten Fingerdruck in jede beliebige Lage bringen; ist sie aber einmal in ihrer Rotationsbewegung begriffen, so behält ihre freie Drehaxe die zuerst ertheilte Richtung mit solcher Energie bei, dass die Hand, ehe sie eine Aenderung zu bewirken vermag, einen sehr fühlbaren Widerstand zu überwinden hat. Dabei ist es gleichgültig, ob die Maschine ruhig stehen bleibt oder beliebig im Zimmer umhergetragen wird.

Es giebt noch andere Apparate zur Demonstration der Erhaltung der Rotationsebene, doch versparen wir deren nähere Erörterung für einen späteren Zeitpunkt. Alle jene haben nämlich den weiteren Zweck, auch eine gewisse Abweichung der Axenbewegung von der uns bekannten Regel zur Anschauung zu bringen, und von dieser werden wir besser erst dann sprechen, wenn die allgemeinen gestaltlichen Verhältnisse der Erdbahn völlig klar gestellt sind.

§. 8. **Die Kepler'schen Gesetze.** Man irrt, wenn man annimmt, Coppernicus habe mit den ptolemäischen Epicyklen endgültig aufgeräumt. Diess war nicht möglich, solange man aus mathematisch-philosophischen Gründen an der reinen Kreisform der Planetenbahnen festhielt; Coppernic vermochte zwar die Anzahl der Hülfskreise erheblich zu vermindern, vollständig aber beseitigte dieselben erst Kepler. Allerdings war die Möglichkeit, dass auch andere als Kreisbahnen im Weltraume vorkommen könnten, schon vorher schüchtern angedeutet worden; im „Libros del saber“ des Königs Alfons wird z. B. die Merkurbahn elliptisch abgebildet [158], Fracastor dachte sich die sogenannte Trepidationsbewegung der Aequinoktialpunkte als auf einer Ellipse vor sich gehend [159], und dass auch Coppernicus selbst seine aprioristische Auffassung nicht für die allein maassgebende hielt, beweisen einige von Curtze aufgefundenen Worte, die er an den Rand des Originalmanuskriptes schrieb [160]: „Estque hic obiter animadvertendum, quod, si circuli hg et cf fuerint inaequales manentibus caeteris condicionibus, non rectam lineam, sed conicam sive cylindricam sectionem describent, quam ellypsim vocant mathematici; sed de his alias.“ Von All' dem war jedoch dem Kepler ohne allen Zweifel nichts bekannt, er selbst und sein Genie war die einzige Quelle, woraus er schöpfen konnte.

Die beiden ersten Gesetze des Planetenlaufes, welche seinen Namen tragen, verkündet Kepler in seinem Hauptwerke „Astronomia nova“ (Heidelberg 1609), während das dritte erst in der späteren „Harmonice mundi“ zum Ausdrucke gelangte. Der ganze Entwicklungsgang, der bis zur Erkenntniss dieser fundamentalen Wahrheiten durchzumachen war, findet sich trefflich geschildert in einer Monographie von Göbel [161], auf welche wir uns im Folgenden beziehen werden. Nicht durch theoretische Deduktion im Sinne Newton's, noch weniger allerdings durch Beobachtungen im Sinne Brahe's*), sondern durch

*) Leider ist die Fabel, Kepler sei ein vorzüglicher Beobachter gewesen,

eine ihm allein eigene Verbindung kühner, ja oft phantastischer Spekulation mit einem Rechentalent, welches die sofortige numerische Prüfung einer jeden einmal aufgestellten Hypothese gestattete, hat Kepler ein Ziel erreicht, über dessen eigentliches Wesen er bei Beginn seiner Arbeit noch durchaus nicht mit sich im Reinen war. Nachdem sich die von ihm in etwa 70 Einzelumdrehungen erprobte „Hypothesis varia", welche zwar die erste, nicht aber die zweite Ungleichheit (s. o. §. 5) richtig darstellte, als unbrauchbar erwiesen hatte [163], fand er allerdings sein erstes Gesetz, welches für jede Art von Centralbewegung gültig ist [164], allein noch konnte er sich nicht dazu entschliessen, die von dem Zeitbewusstsein ängstlich festgehaltene Vorstellung der reinen Kreisbahn fallen zu lassen, und nur mit Ueberwindung gestand er sich und seinen Lesern endlich zu, dass die vom Planeten Mars beschriebene Kurve eine ovale Gestalt besitze [165]. Zuerst dachte er an eine „Ooide" oder Eilinie, eine geschlossene Kurve also, die aber nicht zwei Symmetrieaxen, sondern blos deren eine hat [166], dieser substituirte er sodann eine „linea buccosa" oder Wangenlinie [167], und erst als auch diese Annahme der Rechnung nicht Stand zu halten vermochte, überzeugte er sich, dass nur eine wirkliche Ellipse den tychonischen Oertern entspreche [168]. Die Entdeckung des dritten Gesetzes endlich glückte erst nach mühsamster Untersuchung aller planetarischen Zahlen mit Rücksicht auf musikalisch-harmonische und geometrisch-symmetrische Verhältnisse [169]. Die drei Gesetze sind nun, chronologisch geordnet, die folgenden:

I. Bei jeder Bewegung eines Punktes um einen Centralpunkt überstreicht der von letzterem ausgehende Fahrstrahl in gleichen Zeiten auch gleiche Flächenräume*). II. Die Bahn jedes Planeten ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. III. Für zwei beliebige Planeten verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Kuben der mittleren Entfernungen von der Sonne.

Nachdem diese Wahrheiten einmal erkannt waren, hielt es minder schwer, dieselben nachträglich auch mit neuen und einfacheren der allgemeinen Bewegungslehre entnommenen Beweisen zu versehen.

Beweis zu I. S (Fig. 45) sei der Centralkörper, A der Planet, der seinem momentanen Bewegungsimpuls folgend in dem gerade beginnenden Zeittheil den Weg AB zurücklegen würde, während er, wenn blos die Centralkraft auf ihn wirkte, in gleicher Zeit sich durch die Strecke AC bewegte. Thatsächlich durchläuft er die Diagonale AD des Parallelogrammes ABDC und würde in alleiniger Konsequenz des Beharrungsvermögens im nächsten Zeittheil die Strecke DH = AD

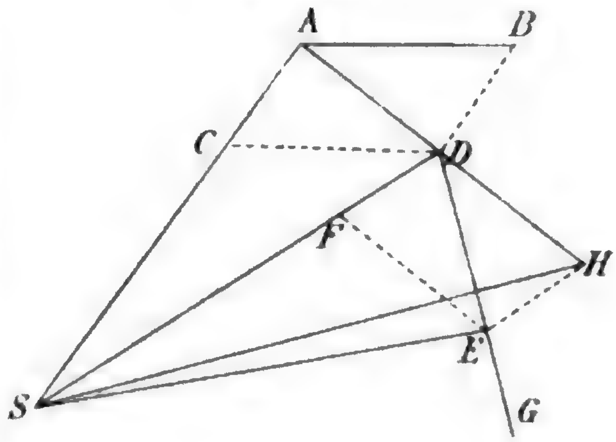
---

aus den Lehrbüchern nicht auszurotten, erst in jüngster Zeit reproducirt Himmer dieselbe [162]. In früher Jugend freilich stellte jener mit Lust und Liebe Beobachtungen an, doch hat er in diesen nie Hervorragendes geleistet, und der Zustand seiner Augen zwang ihn bald, seine Arbeitskraft auf das für ihn passendere Gebiet theoretischer Forschung zu koncentriren.

*) Aus dem ersten Gesetze folgt ohne weiteres als Korollar, dass die Geschwindigkeit eines Planeten variirt, sobald dessen Bahn von einem Kreise abweicht, und dass insbesondere für den Fall einer Kegelschnittsbewegung die Bahngeschwindigkeit in unmittelbarer Nähe des von der Sonne eingenommenen Brennpunktes (also im Perihelium) ein Maximum ist und mit wachsender Sonnendistanz abnimmt. Auf der Ellipse erreicht der Planet das Minimum in der Nähe des zweiten Brennpunktes der Bahn (im Aphelium).

beschreiben. Die Centripetalkraft dagegen treibt ihn um die Strecke DF, die im Allgemeinen von AC an Grösse verschieden sein wird. Am Ende des zweiten Zeittheiles ist somit der bewegte Punkt in E, dem Endpunkte der Diagonale DE des Parallelogrammes DFEH, und scheint sich nach G weiterbewegen zu wollen. Nun kommt der Satz, dass zwei Dreiecke von gleicher Grundlinie und Höhe flächengleich sind, zweimal zur Geltung; es ist danach $\Delta SAD = \Delta SDH$ und $\Delta SDH = \Delta SDE$, also durch Komparation $\Delta SAD = \Delta SDE$. Nimmt man die beiden Zeittheile unendlich klein, so verwandelt sich die gebrochene Linie ADE in eine gekrümmte, und der Satz ist bewiesen.

Fig. 45.



Beweis zu II. Das zweite Gesetz lautet in der ihm von Newton ertheilten Verallgemeinerung so: wird ein Körper durch einen einmaligen Stoss in Bewegung gesetzt*) und zugleich von einem anderen Körper im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung angezogen, so beschreibt er eine Kurve zweiter Ordnung, in deren einem Brennpunkte jener zweite Körper steht. Beim Beweise dieses Lehrsatzes ist die höhere Analysis nicht wohl zu entbehren. Der sich bewegende Punkt erfahre in der Entfernung r vom Centralkörper nach diesem hin die Beschleunigung γ, in der Entfernung r' die Beschleunigung γ': dann gilt die Proportion $\gamma : \gamma' = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{r'^2}$, woraus, unter k die Konstante $\gamma' r'^2$ verstanden, $\gamma = \frac{k}{r^2}$ folgt. Es ist also, wenn C die Integrationskonstante bedeutet,

$$\int \gamma\, dr = \int \frac{k\, dr}{r^2} = -\frac{k}{r} + C \ldots\ldots \quad (1).$$

Die Differentialgleichungen aber sind folgende:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\gamma \cdot \frac{x}{r}, \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = -\gamma \cdot \frac{y}{r};$$

multiplicirt man erstere mit dx, letztere mit dy und addirt beide hierauf, so findet sich

$$\frac{dx \cdot d^2x + dy \cdot d^2y}{dt^2} = -\frac{\gamma}{r}(x\,dx + y\,dy) \ldots\ldots \quad (2).$$

---

*) Die Annahme dieses primären Stosses bildet den einzigen nicht aufgeklärten Punkt des wohlgefügten Newton'schen Systemes, und in der That scheint diese Annahme nicht durch Besseres verdrängt werden zu können. Denn auch die Kant-Laplace'sche Nebulartheorie leistet, wie wir uns aus Kap. I. der ersten Abtheilung entsinnen, nicht die gewünschte Aushülfe; der Fragepunkt wird durch dieselbe nicht aus der Welt geschafft, sondern nur verschoben, indem jetzt nach der Ursache zu forschen ist, welche in der gleichmässig vertheilten Urmasse die erste Bewegung einzelner Massentheile einleitete. Und eine solche Ursache ist (s. o.) zur Zeit noch nicht bekannt.

Der Zähler der linken Seite der Gleichung (2) ist das vollständige Differential von $\frac{1}{2}(dx^2 + dy^2)$, rechts in der Klammer steht ebenso das Differential von $\frac{1}{2}(x^2 + y^2) = \frac{1}{2} r^2$, also erhält man, da $dr^2 = 2\,r\,dr$ ist, sogleich folgende Differentialgleichung sammt ihrem Integrale:

$$d\left(\frac{dx^2 + dy^2}{dt^2}\right) = -\frac{\gamma}{r} \cdot dr^2,\quad \frac{dx^2 + dy^2}{dt^2} = C' - \int \gamma\, dr \ldots\ldots (3);$$

hier bedeutet C' eine neue Konstante. Gehen wir jetzt von den orthogonalen Koordinaten zu polaren (r, φ) über, so haben wir die bekannten Umformungen zu machen:

$$x = r\cos\varphi,\quad y = r\sin\varphi,\quad dx = \cos\varphi\, dr - r\sin\varphi\, d\varphi,$$
$$dy = \sin\varphi\, dr + r\cos\varphi\, d\varphi.$$

Thun wir diess, so nimmt (3) folgende Gestalt an:

$$\frac{r^2 d\varphi^2 + dr^2}{dt^2} = C' - 2\int \gamma\, dr \ldots\ldots (4).$$

Das uns bereits bekannte erste Kepler'sche Theorem gestattet in der Sprache der Differentialrechnung, wenn c eine Konstante bedeutet, ersichtlich diese Fassung: $r^2 d\varphi = c\,dt$; eliminirt man aus dieser und Gleichung (4) das Zeitelement dt, so erhält man:

$$\frac{c^2}{r^2} + \frac{c^2 dr^2}{r^4 d\varphi^2} = C' - 2\int \gamma\, dr \ldots\ldots (5).$$

Hierin ersetzt man den Integralwerth durch den aus Gleichung (1) zu entnehmenden und bekommt die neue Gleichung $(C' - 2C = C'')$

$$\frac{c^2}{r^2} + \frac{c^2 dr^2}{r^4 d\varphi^2} = C' - 2C + \frac{2k}{r} = C'' + \frac{2k}{r},$$

oder, wenn noch $r = \rho^{-1}$ gesetzt und nach $d\varphi$ aufgelöst wird,

$$d\varphi = \frac{\pm c\, d\rho}{\sqrt{C'' + \frac{k^2}{c^2} - \left(c\rho - \frac{k}{c}\right)^2}} \ldots\ldots (6).$$

Die Integration nach ρ ergiebt keine Schwierigkeiten; es folgt aus (6), wenn $(-\varphi')$ die neu einzuführende Konstante vorstellt,

$$\varphi - \varphi' = \text{arc cos} \frac{c\rho - \frac{k}{c}}{\sqrt{C'' + \frac{k^2}{c^2}}}.$$

Geht man vom Arcus zum Kosinus über und setzt $\varphi - \varphi' = \psi$, so wird

$$c\rho - \frac{k}{c} = \cos\psi \cdot \sqrt{C'' + \frac{k^2}{c^2}},$$

und setzt man wiederum für ρ seinen obigen Werth r^{-1}, setzt man weiter der Kürze wegen $c^2 = kp$, $1 + \frac{C'' c^2}{k^2} = e^2$, so gelangt man zu der den Radiusvektor durch die Amplitude ausdrückenden Schlussgleichung:

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\psi}.$$

Diess ist aber die Polargleichung eines Kegelschnittes, und zwar fällt

der Pol des Koordinatensystemes mit dem einen Brennpunkte zusammen; der halbe Parameter ist p, die Excentricität e und, wenn r_0 den vom Pol nach dem Perihel gezogenen Fahrstrahl bedeutet, $\sphericalangle (r, r_0) = \psi$. Ist e ein ächter Bruch, C'' negativ, so entsteht eine Ellipse, ist $e = 1$, C'' gleich Null, so entsteht eine Parabel; ist endlich $e > 1$, C'' also positiv, so entsteht eine Hyperbel. Bei näherem Zusehen zeigt sich, dass die Stärke des Anfangsstosses, von welchem man sich das Mobil, resp. den Planeten betroffen denkt, über die Beschaffenheit des Kegelschnittes entscheidet.

Beweis zu III. Unter der für unser Planetensystem sehr nahe zutreffenden Voraussetzung, dass die Massen m sämmtlicher Planeten der ungeheuer überwiegenden Sonnenmasse M gegenüber als gleich zu betrachten und dass sämmtliche Bahnkurven ohne Fehler als Kreise zu betrachten seien, lässt sich das dritte Gesetz leicht elementar erweisen. q sei die sich stets gleichbleibende Attraktionskonstante, r_1 und r_2 seien die Bahnhalbmesser zweier Planeten; dann sind die Beschleunigungen, welche diese Planeten gegen die Sonne hin erfahren, durch

$$\gamma_1 = k \cdot \frac{mM}{r_1^2}, \quad \gamma_2 = k \cdot \frac{mM}{r_2^2}$$

gegeben. Dem bekannten Gesetze der Centrifugalkraft gemäss ist aber auch

$$\gamma_1 = \frac{m v_1^2}{r_1}, \quad \gamma_2 = \frac{m v_2^2}{r_2},$$

wo v_1 und v_2 die Bahngeschwindigkeiten vorstellen. Durch zweimalige Anwendung des Komparationsgrundsatzes folgt hieraus,

$$k \cdot \frac{mM}{r_1^2} = \frac{m v_1^2}{r_1}, \quad k \cdot \frac{mM}{r_2^2} = \frac{m v_2^2}{r_2}, \quad k = \frac{r_1 v_1^2}{M} = \frac{r_2 v_2^2}{M},$$
$$r_1 v_1^2 = r_2 v_2^2.$$

Es ist aber $v_1 = \frac{2 r_1 \pi}{T_1}$, $v_2 = \frac{2 r_2 \pi}{T_2}$, unter T_1 und T_2 die vollen Umlaufszeiten beider Planeten verstanden; diess eingesetzt giebt

$$\frac{4 r_1^3 \pi^2}{T_1^2} = \frac{4 r_2^3 \pi^2}{T_2^2} \quad \text{oder} \quad \frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2},$$

was zu beweisen war.

Nimmt man strenger die Massen m_1 und m_2 der beiden Planeten verschieden an, so ergiebt sich die nur wenig komplicirtere Relation

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{(M + m_1)\, r_1^3}{(M + m_2)\, r_2^3},$$

die aber wieder nur durch eine Infinitesimalbetrachtung hergeleitet werden kann [170]. —

Zu sämmtlichen Kepler'schen Gesetzen sei bemerkt, dass dieselben sich auf den Schwerpunkt der die Sonne umkreisenden Planetenkugel beziehen, und dass es nicht gestattet ist, verschiedene Punkte ein und derselben Kugel als von verschiedenen Impulsen beeinflusst anzunehmen. Aus diesen Gründen ist eine Hypothese a priori zu verwerfen, welche Wettstein [171] aufgestellt und mit unleugbarem Geschick als in den mannigfachsten Zweigen der physischen Erde sich geltend machend nachzuweisen versucht hat. Versteht man unter A_1 und A_2 zwei Antipodenpunkte der Erde, deren Verbindungslinie durch den Mittelpunkt der Sonne hindurchgeht, unter r_1 und r_2 deren

Entfernungen von jenem Punkte, unter v_1 und v_2 die Bahngeschwindigkeiten, welche diesen Punkten zukommen würden, wenn jeder von ihnen einzeln um die Sonne liefe, unter T_1 und T_2 die entsprechenden Umlaufszeiten, so könnte man nach Wettstein sämmtliche obige Gleichungen, wie sie zum Beweise des dritten Gesetzes dienten, anschreiben. Derselbe setzt $r_1 = 24\,000 - 1 = 23\,999$, $r_2 = 24\,000 + 1 = 24\,001$, die Umlaufszeit des Erdmittelpunktes gleich 31 558 200 Zeitsekunden, und hat somit die Gleichungen

$$r_1 v_1^2 = r_2 v_2^2,\ 24\,000^3 : 23\,999^3 = 31\,558\,200^2 : T_1^2,$$
$$24\,000^3 : 24\,001^3 = 31\,558\,200^2 : T^2.$$

Für einen Aequatorpunkt berechnet er so, dass die Geschwindigkeiten um Mittag, um sechs Uhr des Abends und Morgens und um Mitternacht sich wie

$$29\,865{,}42 : 29\,864{,}82 : 29\,864{,}22$$

zu einander verhalten. Diese Wirkung der Sonnengravitation soll zur Folge haben, dass den Körpern im Aequator eine Bewegung mitgetheilt wird, deren Richtung jener der Erdrotation entgegengesetzt ist. Ein Körper an der Erdoberfläche sei hiernach mit einer mittleren rückläufigen Bewegung von 0,26 m begabt, und diese Retardation scheine sich in den von Ph. Plantamour wahrgenommenen Schwankungen der Libellenblase zu manifestiren [172] (s. o. §. 2). Näher ist diese Wettstein'sche Theorie von Zöppritz [173] und dem Verf. [174] in Betracht gezogen worden; in des letzteren Abhandlung ist einmal das Wort „Bahngeschwindigkeiten" durch „Umläufe" zu ersetzen. Wie schon erwähnt, ist jene bei all' ihrer scheinbaren Geschmeidigkeit mechanisch unhaltbar; auch stehen ihr empirische Thatsachen in genügender Menge entgegen [175].

§. 9. **Drei geophysikalisch wichtige Perturbationen.** Mit der streng kausalen Begründung der Kepler'schen Gesetze durch Newton, sowie mit dessen genialer Leistung, durch welche sämmtliche kosmische Geschehnisse als Ausflüsse des Gravitationsprincipes dargestellt wurden, haben wir uns an dieser Stelle nicht weiter zu beschäftigen. Auch die Lehre von den Planetenstörungen ist an sich für uns nebensächlich; durch die Thatsache, dass in Folge der wechselseitigen Anziehung der Planeten keiner derselben eine rein elliptische Bahn beschreibt, sondern von dieser idealen Bahn jederzeit nach der einen oder anderen Seite, nach oben oder unten abgezogen wird, scheint das Spiel der physikalischen Kräfte auf und in der Erde zunächst nicht beeinflusst zu werden. Indessen kommen unter diesen sogenannten Störungen oder Perturbationen doch auch solche vor, welche möglicherweise einer geophysikalischen Bethätigung fähig wären, und dieser zu gedenken, ist unsere Pflicht.

Man unterscheidet in der Störungstheorie periodische und säkuläre Störungen [176]; doch ist diese Scheidung nicht eigentlich eine principielle, indem nur die zuletzt erwähnten an eine sehr lange Periode geknüpft sind. Maassgebend für erstere Störungen sind drei Laplace'sche Gleichungen, die wir hier mittheilen, und in welchen $m, m_1, m_2 \ldots$ die Massen, $e, e_1, e_2 \ldots$ die Excentricitäten, $a, a_1, a_2 \ldots$ die halben grossen Axen der Planeten, $\varphi, \varphi_1, \varphi_2 \ldots$ die Neigungen ihrer Bahnen gegen die unveränderliche Ebene (Abth. I,

Kap. I, §. 8), endlich $l, l_1, l_2 \ldots$ die Längen der Knotenlinien dieser Bahnen darstellen. Es ist

I. $m e^2 \sqrt{a} + m_1 e_1^2 \sqrt{a_1} + m_2 e_2^2 \sqrt{a_2} + \ldots = \text{Konst.}$

II. $m \tang \varphi \sqrt{a} + m_1 \tang \varphi_1 \sqrt{a_1} + m_2 \tang \varphi_2 \sqrt{a_2} + \ldots = \text{Konst.}$

III. $m \tang \varphi \sin l \sqrt{a} + m_1 \tang \varphi_1 \sin l_1 \sqrt{a_1} + m_2 \tang \varphi_2 \sin l_2 \sqrt{a_2} + \ldots = \text{Konst.}$

Dieses Gleichungssystem wird uns allen Aufschluss geben, dessen wir bei unseren weiteren Betrachtungen bedürfen werden. Drei Beeinträchtigungen des planetarischen Gleichgewichtszustandes sind es wesentlich, auf welche man sich ab und zu zur Erklärung tellurischer Erscheinungen berufen hat.

a) **Die Schwankung der Ekliptikschiefe.** Die scheinbare Sonnenbahn bildet mit dem Aequator einen Winkel, der in runder Zahl 23½° beträgt; um diesen Winkel ist also in Wirklichkeit die — zunächst noch als sich selbst stets parallel bleibend angenommene — Erdaxe von einer senkrecht auf der Erdbahn errichteten Geraden abgelenkt. Die Grösse dieses Neigungswinkels ist für den Wechsel der Jahreszeiten, für die Eintheilung der Erdoberfläche in klimatische Zonen u. s. w. maassgebend; plötzliche Aenderungen desselben müssten die terrestrische Wärmevertheilung und damit das organische Leben auf der Erde in einschneidendster Weise beeinflussen. Bis zu einem gewissen Grade ist die Neigung der Ekliptik nun in der That variabel. Schon Domenico Maria, der, wie in §. 2 dieses Kapitels erwähnt ward, unrichtige Ansichten über die Schwankung der Erdaxe kundgegeben hatte, glaubte Aehnliches für die Ekliptik bemerkt zu haben, und diessmal befand er sich in besserem Rechte, obwohl er sich bezüglich des Sinnes der wahrgenommenen Bewegung irrte. Coppernicus hat uns in seiner Originalhandschrift der „Revolutiones" ältere Messungen der Ekliptikschiefe aufbehalten; „Joannes Regiomontanus," meldet er [177], „reperit partes XXIII scrupula XXVIII s.*), Georgius Purbachius anno Christi MCCCLX partes, ut illi, XXIII, scrupula vero XXVIII adnotavit, Dominicus Maria Novariensis anno Christi MCCCCXCI ultra partes integras scrupula XXVIIII et amplius quiddam." Von Peurbach zu Regiomontan, von diesem zu Novara hätte sich mithin der Winkel stetig, wenn auch nicht erheblich, vergrössert. Laplace hat dann die Nothwendigkeit einer solchen periodischen Zu- und Abnahme der Schiefe der Ekliptik analytisch dargethan, zugleich jedoch auch die Grenzen festgestellt, zwischen denen die Oscillation erfolgt, und diese einander sehr nahe liegend gefunden [178]; für unser Jahrhundert ist die Neigung durch den Ausdruck $23° 28' 42,''19 - 0,''483408\, t - 0'',000002723\, t^2$ gegeben, in welchem t die Anzahl der seit 1700 verflossenen Jahre bedeutet. Der Neigungswinkel wird nicht grösser als 27½°, nicht kleiner als 21½°, und in jedem Jahre macht die Veränderung — gegenwärtig sind wir in der Abnahme begriffen — etwa eine halbe Bogensekunde aus. Die zweite der obigen drei Gleichungen giebt uns eine Gewähr dafür, dass bedeutende Veränderungen nicht eintreten können. Da nämlich (vgl. die Notizen über das Stabilitätsproblem im ersten Kapitel der ersten Abtheilung) die Grössen a unveränderlich und da zur Zeit, wie bekannt, die Grössen φ sämmtlich

*) Es bedeutet diess 23° 28′ 30″.

sehr klein sind, so muss die Grösse m_i tang φ_i ebenfalls einen kleinen Werth annehmen, und ein Gleiches gilt für $\Sigma\, m_i$ tang φ_i = Konst. Diese letztere ändert sich für alle Folgezeit nicht, sonach können auch die Neigungen φ eine sehr mässige Grenze nicht übersteigen. Und überhaupt sind grosse Abänderungen der verschiedenen für unser Planetensystem charakteristischen Neigungswinkel nicht möglich*); auch die Ekliptikschiefe des Uranus, welche nach menschlichen Begriffen eine höchst ungünstige ist, wird annähernd immer die gleiche bleiben [179]. Es bleibt deshalb nur übrig, die mancherlei Hypothesenkonstruktionen, welche sich bereits mit der periodischen Schwankung des Erdbahnwinkels zu schaffen gemacht haben, in das Reich der Mythenbildung, wie diese z. B. von Whiston und Pluche schwunghaft betrieben worden ist, zu verweisen. „Diese geringen Veränderungen," sagt Mädler sehr treffend [180], „können in Bezug auf Klimate keine merkliche Wirkung äussern. Wenn z. B. nach 8—10000 Jahren die Schiefe bis auf $21\frac{1}{2}{}^0$ sich vermindert haben wird, so werden die Sommertage in unseren Gegenden um 25 Minuten kürzer, die Wintertage um ebensoviel länger werden, als gegenwärtig. Die Wärme der Sommer wird durchschnittlich etwa um $\frac{1}{2}{}^0$ geringer, die Kälte der Winter aber in demselben Maasse milder werden; für die Uebergangszeiten, sowie für das Jahr im Durchschnitt, würde sich keine Veränderung herausstellen. Wenn demnach die Erde, wie einige Thatsachen darzuthun scheinen, einst beträchtlich wärmer als jetzt war, so kann der Grund nicht in diesen Verhältnissen gesucht werden."

b) **Die Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn.** Auch dieses Element ist steten Veränderungen unterworfen, doch geht aus Gleichung I von Laplace durch ein dem vorhin angestellten völlig entsprechendes Raisonnement hervor, dass auch hier Periodicitätsgrenzen vorhanden sind, und dass zumal die von der Erde beschriebene Ellipse niemals in einen Kreis ausarten kann; „wie die Neigungen können auch die Excentricitäten der Bahnen zweier einander störender Planeten gewisse Grenzen nicht überschreiten, und wenn die eine wächst, muss die andere abnehmen" [181]. Croll theilt nach einer Revision Leverrier's mit, dass für die variirende Excentricität e die Ungleichungen $0{,}07775 > e > 0{,}003314$ bestünden, und dass die Periode 23980 Jahre betrage [182]. Adhémar, John Herschel und besonders Croll suchten diese Störung als das eigentliche Motiv der sogenannten Eiszeit der Erde hinzustellen, und wir werden in dem von den Temperaturperioden handelnden Kapitel der fünften Abtheilung hierauf zurückzukommen haben.

c) **Die Verschiebung der Länge des Periheliums.** Die jedenfalls

*) Diejenige Neigung, mit welcher wir es hier zu thun haben, gehört allerdings nicht zu den Winkeln φ, welche, einzelne Ausnahmen, z. B. bei Pallas, abgerechnet, durchweg $< 23\frac{1}{2}{}^0$ sind. Allein, wenn durch Gleichung I dargethan ist, dass Neigungswinkel innerhalb des Planetensystemes selbst dann nahe invariabel sind, wenn die allergewaltigsten Attraktionswirkungen sich offenbaren, wie z. B. bei den Planeten Jupiter und Saturn, so ist bei unserer Erde, welche in Folge ihrer Kleinheit und ihrer Stellung im System weit minder intensiv beeinflusst wird, noch weit weniger Grund zu erheblichen Störungen nach dieser Richtung hin vorhanden. Insoferne gilt somit jene Gleichung indirekt auch für den uns hier beschäftigenden Fall.

einflussreichste planetarische Umgestaltung liegt in dem Vorrücken der grossen Bahnaxen von West nach Ost; J. J. v. Littrow, dessen inhaltsreicher Artikel „Sonnennähe“ uns diessmal überhaupt zur Vorlage dient, erblickt in dem Wandern des Perihels „die einzige wahre Säkulargleichung, die es in unserem Sonnensysteme giebt“ [183]. Es bezeugt diess auch die Laplace'sche Gleichung III, in welcher die Grössen sin l_1 alle möglichen Werthe annehmen können, so dass auch die Konstante nicht, wie früher, an kleine Werthe gebunden ist. Unsere Erde besass zur Epoche 1800 die Perihellänge 99°36′5″; da die säkuläre Verschiebung 6201″ beträgt, so fiel das Perihelium etwa um 4000 v. Chr. mit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche zusammen, und Anno 6470 unserer Zeitrechnung wird das Perihel in der Ekliptik um 180° vom Anfangspunkte der Zählung (♎) verschieden sein [184]. Die Wärmeverhältnisse der Erde können durch diese Drehung der Apsidenlinie allerdings alterirt werden. Gegenwärtig ist die Erde bald nach der Sommersonnenwende am weitesten und bald nach der Wintersonnenwende am wenigsten weit von der Sonne entfernt, im Aphelium ist die Bahngeschwindigkeit geringer als im Perihelium (vgl. §. 8), und so dauern die beiden wärmeren Jahreszeiten, Frühling und Sommer, zusammen etwas länger als die beiden kälteren; die Differenz beläuft sich auf nahe acht Tage. Allmählig wird sich nun für unsere Halbkugel das Verhältniss zu deren Ungunsten verschieben, und auch die hieraus entspringende chronische Wärmedifferenz hat man mit der abwechselnden Vereisung der einen und anderen Hemisphäre in Verbindung gebracht.

Wenn nun auch diese durchaus langsam vor sich gehenden Schwankungen, jede für sich, wenig dazu geeignet scheinen, einer grossartigen generellen Erklärung der irdischen Temperaturveränderungen als Untergrund zu dienen, so ist doch andererseits nicht zu leugnen, dass kumulative Wirkungen eintreten können und müssen. Hierauf hat Croll sein Hauptaugenmerk gerichtet. Er liefert eine von Stone ausgearbeitete Tabelle [185], welche für jedes Jahr eines mit 1800 beginnenden Zeitraums von 10000 Jahren Excentricität und Perihellänge angiebt, so dass durch Vergleichung die für besonders günstige oder ungünstige klimatische Verhältnisse einer bestimmten Halbkugel erforderliche Summirung der von beiden Faktoren abhängigen Einflüsse unmittelbar herausgefunden werden kann. Und innerhalb dieses Rahmens könnte nach Croll [186] sogar die oben als ein sehr geringfügiges Element erkannte Variation der Ekliptikschiefe eine nicht ganz unbedeutende Rolle spielen. Jedenfalls haben Croll's zielbewusste Untersuchungen, man mag im Einzelnen über sie wie immer denken, ein Recht darauf, nicht mit anderen und zum Theil wüsten Spekulationen über das Ineinandergreifen von kosmischer und tellurischer Physik unter Einen Hut gebracht zu werden.

§. 10. **Trepidation und Präcession.** Als im Jahre 134 v. Chr. der griechische Astronom Hipparchos, durch das Aufleuchten eines neuen Sternes hiezu veranlasst, einen neuen Sternkatalog anzulegen beschloss, hatte er in erster Linie seine eigenen Ortsbestimmungen mit denjenigen zu vergleichen, welche 150 Jahre früher die alexandrinischen Beobachter Aristyllos und Timocharis gemacht hatten [187].

Da fand sich denn, dass die astronomischen Längen ausnahmslos eine Vergrösserung erfahren hatten, und zwar traf auf das Jahr eine für jeden Stern gleiche Verschiebung von 36″ in der Richtung der täglichen Bewegung. Dieser Werth war etwas zu klein, im Mittelalter bestimmte der Perser Nasr Ed-din [188] ihn richtiger zu 51″ pro Jahr. Mit Hipparch's Entdeckung war auch die Nothwendigkeit gegeben, für das Wort „Jahr" verschiedene Begriffe einzuführen; das tropische Jahr markirt den Zeitraum, welchen die Sonne (in ptolemäischer Redeweise) braucht, um wieder zu demselben Aequinoktialpunkte oder Solstitialpunkte zurückzukehren, das siderische Jahr dagegen führt die Sonne wieder zu dem nämlichen Sterne der Ekliptik zurück. Es ist selbstverständlich, dass, als in §. 2 dieses Kapitels die Konstanz der Jahreslänge behauptet ward, damit nur das siderische Jahr gemeint sein konnte; bei der Bestimmung der Länge des tropischen Jahres ist dagegen die Verschiebung der Fixpunkte der Zählung in Betracht zu ziehen, und gleichfalls muss auf dieselbe Rücksicht genommen werden, wenn es sich um das oben erörterte Herumwandern des Perihels auf der Ekliptik handelt. Zu den unmittelbaren Folgen dieses Phänomens, für welches der Name Präcession oder Vorrücken der Aequinoktialpunkte üblich wurde, gehört — man vergleiche J. J. v. Littrow's sorgfältige Zusammenstellung [189] — zunächst der Umstand, dass die Zodiakalzeichen mit den Zodiakalsternbildern heute nicht mehr, wie zur griechischen Zeit, übereinstimmen, sowie dass der Weltpol seine Lage unter den festen Gestirnen beständig wechseln muss. Die Ekliptik nämlich bleibt fest, und ein Gleiches gilt natürlich auch für ihre um etwa $23\frac{1}{2}^{\circ}$ von den Himmelspolen abstehenden Pole, der Aequator dagegen rückt parallel mit sich selbst auf der festen Ekliptik von Ost nach West vor, und so muss der bewegliche Pol des Aequators um den fixen Pol der Ekliptik einen kleinen Kugelkreis von $23\frac{1}{2}^{\circ}$ sphärischem Radius beschreiben. Der heutige Polarstern, der schon jetzt diesen Namen nicht mehr recht verdient, wird mit der Zeit jeden Anspruch auf seinen Titel verlieren. Würde, was aber allerdings nicht der Fall, die jährliche Bewegung der Weltpole von der Zeit völlig unabhängig sein, so würde es 25900 Jahre dauern, bis der bewusste Kreis vollständig vom Pole durchlaufen und jeder einzelne Stern genau in die früher diesem Pole gegenüber eingenommene Stellung zurückgekehrt wäre. Man nennt diesen Zeitraum das grosse platonische Jahr; ehedem verband man mit dessen Ablauf die Vorstellung grosser Erdrevolutionen*). Sternkarten und Sterngloben

---

*) In einer aus dem Arabischen in's Lateinische übertragenen Handschrift, welche den Titel „De causis libellus proprietatum elementorum Aristoteli adscriptus" führt und auch in die den arabischen Aristoteles vollständig reproducirende Venetianische Ausgabe desselben aufgenommen ist [190], kommt z. B. nachstehender Passus vor [191]: „Nos autem invenimus ratione geometrica, et operatione mensurali, quod rotunditas terrae est XXIIII milia miliaria, quod est revolutio terrae super XXVI annorum milia, invenitur ergo illud in civitatibus propinquis litoribus marium, ut approximet eis mare, sicut civitas Axym et civitas Medanel, et civitas Serendib, et insulae auri." Es gewährt einigen Reiz, zu sehen, wie die Phantasie des Orientalen bemüht ist, die umlaufenden geographischen Sagen von im Meere untergegangenen Land- und Ortschaften auf irgend ein grosses Ereigniss am gestirnten Himmel zurückzuführen, und dazu eignete sich der vollendete Umlauf der Weltpole allerdings vorzüglich.

werden hiernach von Zeit zu Zeit immer wieder unbrauchbar, wenn sie nicht mit einer von Segner [192] erdachten, die Stellung der Himmelspole korrigirenden Vorrichtung versehen sind. Endlich kann die Präcession auch ein brauchbares Hülfsmittel bei geschichtlichen Untersuchungen abgeben, wie dieselbe denn bei dem Streite über das Alter des bekannten Thierkreises von Denderah, an welchem sich Letronne, Visconti, Laplace u. a. betheiligten, ihre Rolle spielte [193]. Auch die praktische Astronomie hat derselben sehr häufig Rechnung zu tragen, wenn es nämlich gilt, die Positionen der Sterne auf verschiedene Epochen zu reduciren [194].

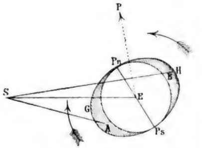
Bei jener Genauigkeit, mit welcher das Alterthum und Mittelalter auch im günstigsten Falle Oerter und Distanzen am Himmel zu messen im Stande war, hätte die Präcession als eine absolut gleichförmige Bewegung erscheinen müssen. Den Griechen jedoch scheint sich bereits die unrichtige Vorstellung aufgedrängt zu haben, dass die achte Sphäre, an welcher man sich die Aequinoktial- und Solstitialpunkte befestigt dachte, eine schwankende oder besser eine alternirende Bewegung besitze. So entstand die im Mittelalter allgemein verbreitete und mit einer gewissen Liebe gepflegte Lehre von der Trepidation der Fixsterne, deren Hauptzüge der Verfasser früher zu schildern versucht hat [195]. Die damit in nächster Verbindung stehende falsche Theorie einer Nutation der Sonne, welche ja nicht mit der in §. 12 zu besprechenden wirklichen Nutation der Erdaxe zu verwechseln ist, hat mit Rücksicht auf die Nachrichten des Attalos und Plinius Schiaparelli [196] zum Gegenstande einer tief eindringenden Nachforschung gewählt. Zur höchsten wissenschaftlichen Feinheit, wenn dieser Ausdruck bei einer Irrlehre erlaubt ist, erhoben die Theorie von einem ungleichförmigen Wachsthum der Präcession Werner [197] und Fracastor [198], indem sie festsetzten, dass die Aequinoktialpunkte auf einem kleinen Kugelkreise — Letztgenannter wollte an dessen Stelle sogar eine Ellipse setzen (§. 8) — umliefen, dessen Centrum selbst auf der Ekliptik weiter rücke. Coppernicus zerschmetterte Werner's Argumente in einem an den Krakauer Domherrn Wapowski gerichteten Sendschreiben, über dessen Inhalt die Angaben des Verfassers [199] und L. Prowe's [200] nachgesehen werden können, doch suchte auch er noch einen Theil der Schwankungshypothese dadurch zu retten, dass er diese mit dem von ihm eingeführten dritten Bewegungsmodus der Erde in kausale Beziehung brachte. Erst seit Tycho Brahe ist die Gleichförmigkeit der Präcessionsbewegung eine allseitig anerkannte wissenschaftliche Wahrheit geworden.

§. 11. **Mechanische Erklärung der Präcession.** Es war nach den soeben erhaltenen Aufschlüssen also nur bedingt richtig, in §. 7 von einem Parallelismus der Erdaxe zu sprechen, da thatsächlich diese Gerade, wenn auch in langsamstem Tempo, einen Kreiskegelmantel beschreibt, der 47° Oeffnung besitzt. Nachdem wir diess wissen, haben wir uns die Frage vorzulegen, wie diese Abweichung von einer Regel, die durch den Versuch an Bohnenberger's Maschine ausser Zweifel gestellt schien, physikalisch zu rechtfertigen sein möchte. Die richtige Erklärung scheint sich Newton, nachdem er den Begriff der

Körperanziehung im Sinne von Kap. II, §. 3 klar erfasst hatte, ganz von selbst dargeboten zu haben, wenigstens konnte in qualitativer Hinsicht seinen bezüglichen Darlegungen [201] später nicht mehr sehr viel hinzugefügt werden. Die beste Paraphrasirung des an sich nicht ganz einfachen Gedankens scheint uns von neueren Autoren V. v. Lang [202] gegeben zu haben, an den wir uns deshalb auch vorwiegend anschliessen. Dass nur die sphäroidale Gestalt der Erde das Vorrücken der Nachtgleichen bedinge, dass bei einer homogenen und sphärischen Erde dergleichen nicht möglich sei, das wurde auch von sonstigen Gegnern des Newton'schen Systemes niemals ernsthaft bestritten, von bekannteren Autoren wenigstens gab nur der einzige Gerlach [203] einen Scheinbeweis dafür, dass es auch eine Drehung für die Axe einer geometrischen Kugel gäbe.

Fig. 46 stellt die Erde dar im Augenblicke des Sommersolstitiums; die Papierebene umfasst gleichzeitig den Mittelpunkt S der Sonne, denjenigen E der Erde und deren Umdrehungsaxe $P_n P_s$, so dass also $\sphericalangle SEP_n = 66^1/_2$ ist. Es genügt dann, wenn man nicht die Grösse der Attraktionswirkungen, sondern blos deren allgemeine Beziehungen kennen lernen will, an Stelle des ganzen Erdellipsoides blos die mit der Zeichnungsebene zusammenfallende Meridianellipse in's Auge zu fassen, zu deren beiden Seiten die Masse ja symmetrisch vertheilt ist. Nun beschreibe man über $P_n P_s$ als Durchmesser einen Kreis, welcher die bezeichnete Ellipse in den Punkten P_n und P_s berührt. Die Ellipse zerfällt so in drei Theile: in den Vollkreis um E und in die beiden — schraffirten Mondfiguren $P_n G P_s$ und $P_n H P_s$; jeder dieser drei Theile erleidet vom Punkte S eine besondere Anziehung. Die Anziehungslinie für den Kreis geht, wie wir wissen, durch den Mittelpunkt E hindurch, und damit scheidet diese Figur völlig von der Betrachtung aus; für die beiden Lunulen kann man sich etwa die Massen in A und B koncentrirt denken. Da beide Massen gleich gross sind, Punkt A aber der Sonne näher liegt, als Punkt B, so muss die Anziehung längs SA stärker sein, als längs SB. Errichten wir in E auf der Papierebene die Senkrechte EP, so suchen die beiden Attraktionskräfte, deren wir soeben gedachten, die Meridianellipse, resp. die ganze Erde, um EP als Axe zu drehen, und zwar im Sinne der beigesetzten Pfeile. In unserer Figur ist der dem Drehsinn des Uhrzeigers konform gerichtete Pfeil zugleich der die stärkere Drehung anzeigende, und so wird jene uns bereits bekannte Drehbewegung der Erdaxe eingeleitet; letztere wird bei ungeänderter Rotationsdauer der Erde langsam und mit konstanter Neigung gegen die Ekliptik in einem der Axendrehung entgegengesetzten Sinne rotiren. Zunächst galt diese Deduktion allerdings nur für eine gewisse ausgezeichnete Stellung des Erdsphäroides, allein auch dann, wenn irgend eine willkürliche Stellung desselben herausgegriffen wird, erhellt ebenso, dass

Fig. 46.



die Axe der von der Sonnengravitation bewirkten Drehbewegung auf der durch Radius Vektor und Erdaxe gelegten Ebene senkrecht steht.

Wäre die Sonne allein vorhanden, so würden in gleichen Zeiten von der verlängerten Erdaxe auch immer gleiche Bögen an der scheinbaren Himmelskugel beschrieben werden. Nun bringt aber der Mond seinerseits eine ganz ähnliche, wennschon weit weniger energische Wirkung hervor, wie die Sonne, und deshalb bewegt sich der Frühlingspunkt zwar stets in derselben Richtung, jedoch nicht stets mit der nämlichen Geschwindigkeit, da die beiden anziehenden Himmelskörper, je nach ihrer wechselnden Stellung zur Erde, sich gegenseitig in ihren Einwirkungen unterstützen oder hemmen können. Man spricht deshalb am Richtigsten von einer Lunisolarpräcession.

Newton's Kalkul, so geistreich derselbe auch war — es kommt darin die einzige eigentliche Integration des ganzen Werkes vor — ergab doch für die Grösse der Präcession den viel zu kleinen Werth von kaum 10 Sekunden, weil einzelne der nothgedrungenerweise zu Grunde gelegten vereinfachenden Annahmen nicht zutrafen [204]. Deshalb trat D'Alembert in einer seiner verdienstlichsten Schriften, von welcher wir glücklicherweise eine gute deutsche Ausgabe besitzen [205], von Neuem an das schwierige Problem heran und integrirte den Differentialausdruck, welchen ihm für die Attraction des uns bekannten Meniskus aufzustellen gelungen war, mit Hülfe von Methoden [206], deren nähere Kenntnissnahme der Geschichte der reinen Mathematik anzuempfehlen ist. Später gab dann Laplace [207] jene Zahlen, die im Grossen und Ganzen noch heute gültig sind, obwohl im Einzelnen dieselben natürlich manche Verschärfung erfuhren. Nimmt man mit Laplace die Lage, welche die Ekliptik am 1. Januar 1750 hatte, als feste Ekliptik an, so weicht auf dieser der Frühlingspunkt unter dem alleinigen Einflusse der Lunisolarpräcession um einen Bogen zurück, der durch den Ausdruck ($50'',37572\ t - 0'',000127945\ t^2$) gegeben ist, wo, wie immer, t die Anzahl der verstrichenen Jahre ist.

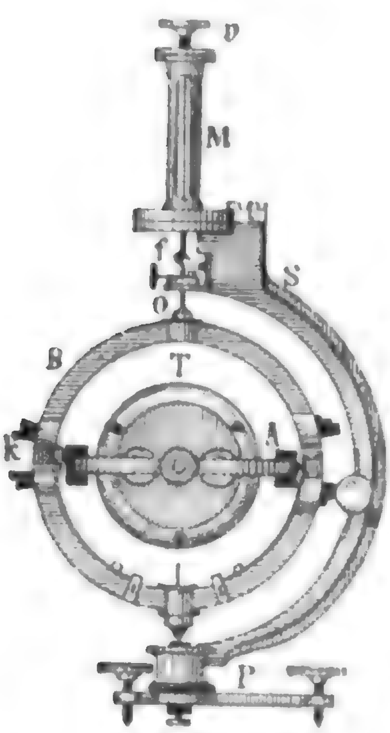
Ist die hier entwickelte Theorie der Präcessionsbewegung richtig, so muss dieselbe auch durch den Versuch nachgewiesen werden können, und dieser Versuch ist denn auch schon vielfach mit allen möglichen Veränderungen angestellt worden. In §. 8 war z. B. davon die Rede, dass Kreisel in Rotation ihre Axe so lange parallel erhalten, doch war dabei vorausgesetzt, dass der tanzende Kreisel sofort vertikal auf seine Unterlage gestellt werde. Geschieht diess aber nicht, so beschreibt der Kreisel einen Kegelmantel, genau ebenso wie die Erdaxe — vgl. Fig. 47 —, und wenn auch nach und nach der von der Axe des Kreisels mit der lothrechten Axe des Kegels gebildete Winkel immer kleiner und kleiner wird, so ist doch daran nur die im Weltraume unwirksame Reibung zwischen Axe und Basis schuld. Nicht minder lässt sich eine analoge Erscheinung auch beim Bohnenberger-schen Apparate nachweisen, sobald man an das Ende der Umdrehungs-

Fig. 47.



axe (Fig. 44) ein kleines Uebergewicht anhängt. Dieses bringt nämlich nicht etwa, wie man erwarten sollte, eine Neigung der Axe innerhalb der durch diese gelegten Vertikalebene zuwege, sondern, wenn nur die Drehgeschwindigkeit eine hinreichend grosse ist, beginnt diese Axe, ohne ihre Neigung gegen den Horizont zu ändern, sich längs eines Kegelmantels in Bewegung zu setzen. Von Fessel's Drehscheibe wollen wir erst später sprechen, weil sich an diese bequem die theoretische Prüfung dieser eigenthümlichen Vorgänge anknüpfen lässt, wohl aber ist jetzt die Zeit, der von Gilbert erwähnten und aus §. 4 bis zu diesem Paragraphen zurückgestellten Vorrichtungen im Zusammenhange zu gedenken. An erster Stelle fesselt unsere Aufmerksamkeit das von Foucault in Verbindung mit Froment ausgeführte und am 27. September 1852 der Pariser Akademie vorgezeigte Gyroskop [208]. Ein Torus*) T aus Bronze (Fig. 48) ist auf eine Axe von Stahl aufgesetzt, deren Endpunkte frei auf zwei dem Metallringe A eingefügten Schrauben liegen. Dieser Ring liegt mit Stahlschneiden auf zwei horizontalen Platten, die wiederum von dem vertikalen Ringe B getragen werden, und dieser Ring ist an einem torsionslosen Faden f aufgehängt, der innerhalb der Röhre M vor Luftzug geschützt und durch die Schraube V regulirbar ist. Ein kräftiger Support S trägt das Ganze; am Postamente P sind Stellschrauben angebracht. In die Masse des Torus sind kleine Schräubchen eingesenkt, und auch sonst befinden sich da und dort Schrauben, wie k, an den Ringen, welche gar keinen anderen Zweck haben, als durch successives Anziehen und Nachlassen den Schwerpunkt des Systemes zu verändern. Durch Probiren kann man es so dahin bringen, dass der Schwerpunkt genau dahin zu liegen kommt, wo die Schneiden des Ringes A, die ja in ein und derselben horizontalen Geraden sich befinden, die verlängerte Vertikale f treffen. Dieser Schwerpunkt ist jetzt der einzige Fixpunkt des ganzen Systemes; ein Hauch des Mundes genügt nunmehr, jenes in Bewegung zu versetzen, und man hat völlig das, was die Statik indifferentes Gleichgewicht nennt. Sowie aber die ganze Vorrichtung auf einen Rotationsapparat aufgesetzt und eine hinlängliche Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht ist, beginnt das System seine eigene Bewegung. „Si l'axe," so beschreibt Gilbert selbst (a. a. O.) den merkwürdigen Vorgang „était d'abord pointé sur une étoile, il continue à viser cette étoile tant que la vitesse du tore ne descend pas au-dessous d'une certaine limite, et par le déplacement apparent qu'il prend ainsi relativement aux objets environnants, comme une lunette monté sur un pied parallactique, déplacement que l'on observe au moyen

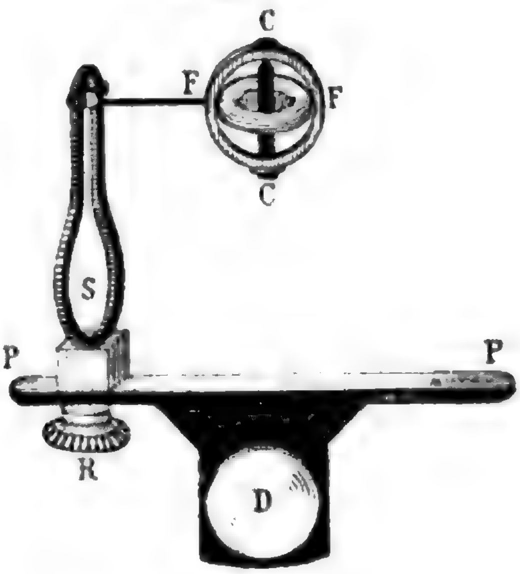
Fig. 48.



*) Unter einem Torus versteht die Geometrie einen Rotationskörper, der durch Umdrehung eines Kreises um eine willkürliche in dessen Ebene gelegene Gerade entstanden ist.

d'un microscope, soit sur l'axe même, soit sur une des pièces de l'appareil; il révèle à l'observateur le mouvement réel de notre globe dans l'espace.“ Eine grosse Reihe der interessantesten Versuche lässt sich mit diesem genial ausgedachten Apparate anstellen, je nachdem man in irgend einer Weise die volle Bewegungsfreiheit des Systemes einschränkt, und insbesondere lässt sich natürlich auch damit die konische Bewegung der Präcession nachweisen. Trefflich leistet dieses Letztere auch das gyroskopische Pendel von Sire [209], welches in den Lehrbüchern sehr häufig mit dem eigentlichen Gyroskope verwechselt wird; doch bietet dasselbe an und für sich noch gar manche andere Räthsel dar. Auf der Platte P (Fig. 49), welche um die vertikale Axe D drehbar ist, befindet sich ein vertikaler Träger S, der, wie man sieht, unten eine Höhlung hat. Oben an demselben ist nämlich ein Draht befestigt, der, solange vollständige Ruhe herrscht, vertikal herabhängt und einen Ring C trägt, und innerhalb dieses Ringes spielt wiederum die horizontale Axe eines Torus T. Die Aequatorialebene von T ist demnach vertikal; die Höhlung dient dazu, dem Torus im Ringe eine ungezwungene Ruhelage zu ermöglichen. Dreht man jetzt das Ganze um die Axe D, so ereignet sich durchaus nichts Besonderes, ebensowenig, wenn man bei sonstiger Ruhe aller übrigen Theile dem Torus für sich eine Rotationsgeschwindigkeit ertheilt. Ganz anders dagegen, wenn beide Bewegungen gleichzeitig stattfinden; dann hebt sich nämlich der Ring C, ähnlich, wie es bei dem in §. 2 dieses Kapitels geschilderten Gregory'schen Experimente der Fall ist, bis die durch unsere Figur gekennzeichnete horizontale Stellung des Verbindungsdrahtes erreicht ist. Dabei war vorausgesetzt, dass mittelst der Richtschraube R die aus der Zeichnung zu ersehende Anordnung der einzelnen Theile des Apparates hergestellt worden sei; würde jedoch in gleicher Weise der Träger S um 90° gedreht werden, so würden sich Erscheinungen einstellen, welche unser Gewährsmann als „aussi paradoxaux“ bezeichnet. „Le pendule, obéissant au même principe, se porte en avant ou en arrière du mouvement du bâti P, selon le sens de la rotation qu'on a imprimée d'avance au tore.“ Gilbert selbst ist dann noch einen bedeutsamen Schritt weiter gegangen. Im Vereine mit dem Mechaniker Ducretet hat er das Barogyroskop konstruirt [210], welches alle irgend auf die Rotation der Körper und zugleich auf diejenige der Erde bezüglichen Phänomene mit bis dahin unerreichter Schärfe darstellt, doch ist die Einrichtung und Theorie desselben eine zu wenig einfache, um an diesem Orte anders als historisch berührt werden zu können.

Fig. 49.



Diese Konstruktion des neuen Universalapparates haben wesentlich theoretische Erwägungen geleitet, während für Foucault und Sire mehr die glückliche Inspiration des genialen Erfindertalentes maassgebend gewesen ist. Gilbert war auch der Erste, dem es gelang, die

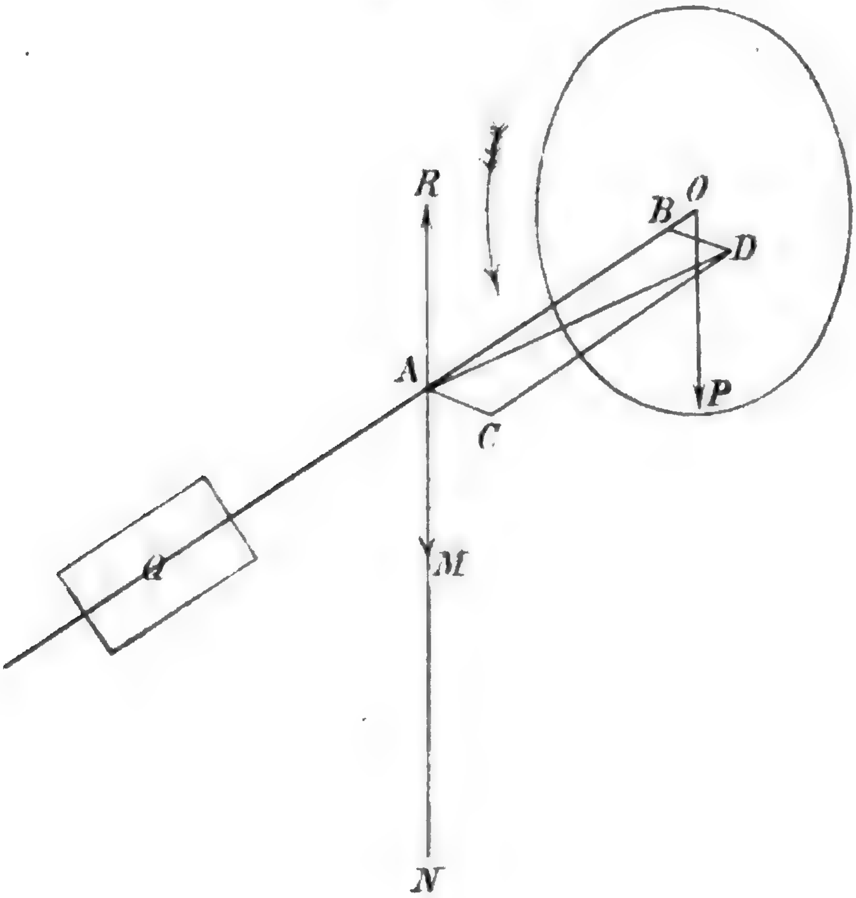
Integration der Bewegungsgleichungen des Gyroskopes vollständig auf bekannte Funktionen, nämlich auf elliptische Integrale, zurückzuführen [211]. Ferner verdankt man demselben Manne einen hochinteressanten Rückblick auf die Geschichte des Problemes [212], zu dessen Lösung ein Poinsot, Richelot, Jacobi, Somoff, Bour u. a. ihr Schärflein beigetragen haben. Insbesondere ersieht man aus diesem Essay, wie schwierig genügende elementare Erklärungen aller jener Thatsachen zu geben sind, welche die zur Veranschaulichung der Präcession ersonnenen Instrumente hervortreten lassen. Selbst die übliche Poggendorff'sche Deutung der Kreiselbewegung und der Drehscheibe operirt mit Bewegungsimpulsen, die in der Natur nicht eigentlich vorhanden sind. Vielleicht kommen wir unserem Ziele, ohne höhere Rechnung eine Begründung der maschinellen Präcession zu liefern, dadurch am nächsten, dass wir einen neuerdings von Munker [213] vorgezeichneten Weg betreten. Wir knüpfen diese Betrachtung an den kleinen, aber sinnreichen Apparat, welchen der auf dem Gebiete der Feinmechanik mit Ehren genannte Fessel [214] angegeben hat.

In einer cardanischen Aufhängung befindet sich eine massive Metallscheibe, die in Drehung versetzt werden kann. Eine am äussersten Ringe angebrachte Axe ist horizontal auf einen vertikalen Ständer aufgesetzt, und ein auf der anderen Seite der Axe verschiebbares Gegengewicht vermittelt die Aequilibrirung. Wird nun das Gegengewicht grösser oder kleiner gewählt, als zu dem gedachten Zwecke erforderlich wäre, so tritt, solange die Scheibe keine eigene Bewegung besitzt, den Umständen gemäss eine Hebung oder Senkung des Gewichtes ein; sobald jedoch der Scheibe eine hinlänglich schnelle Axendrehung ertheilt ward, beginnt sich die Axe horizontal einzustellen und in der Horizontalebene eine Drehung auszuführen, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen, je nachdem das Gegengewicht zu klein oder zu gross ist. Fig. 50 giebt ein schematisches Bild des Vorganges. O ist der Mittelpunkt der im Sinne des Pfeiles rotirenden Scheibe, AO die Drehaxe, A der Punkt, in welchem diese Axe auf dem Piedestal AN aufruht, Q das Gegengewicht, welches etwas kleiner angenommen werden mag, als das Gewicht der Scheibe. Die Differenz beider Gewichte ist durch die in O vertikal wirkende Kraft OP repräsentirt. Es hindert nichts, in A zwei gleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte $AM = AR = OP$ anzunehmen; dann setzt sich AR mit OP zu einem Kräftepaare vom Momente $OP \cdot AO$ zusammen, welches den Apparat in der Ebene AOP um A zu drehen bestrebt ist, während die noch übrige Kraft AM sich lediglich in einem Drucke auf die Axe äussert. Das Moment eines Paares versinnlicht man bekanntlich durch eine auf der Ebene des letzteren senkrecht errichtete Gerade, auf welcher nach irgend einem Maassstabe eine der Grösse des Paares proportionale Strecke abgetragen wird; kommen mehrere Momente in Betracht, so kann man die resultirende Momenten-Axe nach den für das Kräfteparallelogramm gültigen Regeln ermitteln und besitzt in dieser Axe nach Lage, Grösse und Drehsinn*) ein Maass für das resultirende Kräftepaar. Die für Rechtsdrehung positive

*) Die rechtsdrehenden Paare erhalten eine von ihrer Ebene aus nach oben, die linksdrehenden eine von dieser Ebene aus nach unten errichtete Momenten-Axe.

Momenten-Axe unseres Paares ist horizontal und normal zu AO; AC möge dieselbe darstellen. Die Scheibe ward bislang noch als bewegungslos betrachtet; sowie man auch sie mit einer gewissen Rotations-

Fig. 50.



geschwindigkeit begabt annimmt, hat man als deren Repräsentanten ein zweites Kräftepaar einzuführen, dessen positive Axe in AO liegt, dessen Momenten-Axe AB sein möge. Nach obiger Vorschrift sind AB und AC zu einem Parallelogramm ABDC zusammenzusetzen, dessen Diagonale AD ebenfalls in die Horizontalebene fällt; damit ist die horizontale Umdrehung der Axe AO sicher gestellt. Da ferner $\sphericalangle ABD = 90^0$, so ist $AD > AB$. Hierin schiene nun allerdings ein Paradoxon zu liegen, denn wenn in der That nach Umfluss der Zeit dt — wir hatten stets unendlich kleine Drehbewegungen vor Augen — das Drehungsmoment der Scheibe sich vergrössert hätte, so würde damit gesagt sein, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit durch die Präcession vermehrt würde, und dieses Ergebniss entspräche keineswegs den Erfahrungen. Nun ist aber, $\sphericalangle BAD = \psi$ gesetzt, die Zunahme $\delta = AD - AB = AD\ (1 - \cos\psi) = 2\ AD\ \sin^2 {}^1\!/_2\ \psi$. Der Winkel ψ, als im Zeitelement dt beschrieben, ist unendlich klein von der ersten Ordnung, ein Gleiches gilt für seinen Sinus, und dessen Quadrat wiederum wird unendlich klein von der zweiten Ordnung, d. h. gleich Null. Auch der Kalkul bestätigt mithin bei schärferer Prüfung, was wir schon wissen, dass nämlich die Umdrehung, wenn nicht noch andere Einflüsse in's Spiel kommen, mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich geht.

Von der die Sache wesentlich komplicirenden Reibung ist hier abgesehen worden. Wir verschliessen uns den Bedenken nicht, welche

auch gegen die vorgetragene Erklärung sich allenfalls erheben lassen, halten aber gleichwohl dafür, dass dieselbe weit überzeugender ist, als die von Poggendorff (s. o.) gegebene, und dass Munker, der auch die Bewegung des Kreisels unter neuen Gesichtspunkten zu betrachten lehrt [215], namentlich der populärwissenschaftlichen Literatur entschiedenen Vorschub geleistet hat.

§. 12. **Weitere Bemerkungen über die Präcession.** Die Lunisolarpräcession ist nach mehr denn einer Seite hin eine für die mathematische und physische Geographie bedeutsame Erscheinung. Erstens, weil sie, richtig aufgefasst, ein Mittel zur Bestimmung der Erdgestalt abgiebt. Wenn nämlich aus den Dimensionen des Erdsphäroides im Sinne von D'Alembert und Laplace ein Werth für die Grösse des Präcessionsbogens hergeleitet werden konnte, der mit den Messungen wenigstens theilweise stimmte, so muss auch die umgekehrte Fassung der Aufgabe zulässig sein: aus der empirisch gefundenen Grösse der Präcession einen Rückschluss auf die Abplattung des die Erscheinung bedingenden Ellipsoides zu machen. Man hat sich dabei natürlich gegenwärtig zu halten, dass nach Kap. II dieser Abtheilung die Erde ja keine streng geometrisch regelmässige Gestalt besitzt, und so wird man auch an die hier angedeutete Methode keine allzuhohen Anforderungen stellen dürfen. Muncke stellt in seinem Lexikon-Artikel „Erde" eine Reihe von Abplattungswerthen einander gegenüber, welche aus den Störungen der Mondbewegung durch die sphäroidische Erde hergeleitet wurden [216]; v. Lindenau fand $\frac{1}{315,82}$, Laplace $\frac{1}{305}$ nach Bürg, $\frac{1}{299}$ nach Bouvard und Burckhardt. Letzterer Werth stimmt mit den in Kap. II auf verschiedene Weisen erhaltenen Zahlen befriedigend überein. — Von noch gewichtigerer Bedeutung erweist sich eine mit möglichster Präcision durchgeführte Theorie des Vorrückens der Nachtgleichen dann, wenn es sich darum handelt, die Beschaffenheit des Erdinneren zu studiren. Kap. II der nächsten Abtheilung soll uns auf diesen Gegenstand wieder zurückführen.

Gerade aus dieser früher ungeahnten Erweiterung der Thatfrage hat aber die Sache selbst grossen Nutzen gezogen. Der belgische Mathematiker Folie giebt an [217], gelegentlich seiner Versuche, die Existenz einer flüssigen Schicht im Inneren der Erde durch Analysirung der Präcessionserscheinungen darzuthun, sei er darauf gekommen, dass die Präcession — und mit ihr die im nächsten Paragraphen zu erörternde Nutation — auch eine tägliche Periode besitze. Theoretisch zugestanden hatte diese Periode auch Laplace, allein ihre Erkennbarkeit hatte er geleugnet; Folie aber ist es eigener Aussage zufolge gelungen, die bezüglichen Differentialgleichungen, für welche sein grosser Vorgänger nur Näherungslösungen kannte, erstmalig in geschlossener Form zu integriren und so zu weit zuverlässigeren Zahlwerthen zu gelangen. Selbst in dem ungünstigsten Falle eines festen Erdinneren, so findet er (a. a. O.), würde die tägliche Nutation es bewirken, dass der Polarstern um mindestens 0,8″ in Rektascension sich von seinem wahren

Orte entfernt; die tägliche Präcession würde umgekehrt für den Stern λ Ursae minoris im Verlaufe eines Achtelstages eine solche Verschiebung von 0,5″ zuwege bringen. Vergleichungen, welche Folie an den Oertern gewisser Cirkumpolarsterne anstellte, wie diese in den astronomischen Kalendern von Greenwich, Paris, Washington und Berlin mitgetheilt werden, haben ihm gezeigt, dass wirklich beträchtliche Unterschiede in gerader Aufsteigung den Schwankungen der Erdaxe von täglicher Periode zuzuschreiben seien. Diese einstweiligen Andeutungen sind ganz geeignet dazu, Aufsehen zu erregen und den lebhaften Wunsch nach anderweiten, bestätigenden oder abändernden Mittheilungen von unbetheiligter Seite nahezulegen. —

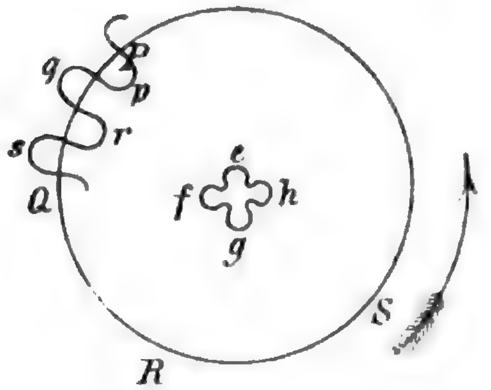
Der Einfluss der Planeten ist bis jetzt, da ausschliesslich von der Lunisolarpräcession die Rede war, ausser Acht geblieben, und in der That ist er an und für sich von keiner Erheblichkeit. Allein in §. 9 haben wir erfahren, dass, ganz unabhängig von der Präcession, die Ekliptik eine langsame Schwengelbewegung ausführt, und dass diese beiden Bewegungen sich irgendwie kombiniren müssen, ist klar. Der Aequator geht lediglich in Folge der Präcession auf der ruhend gedachten Ekliptik rückwärts, also geht er auch noch auf der durch die Planeten bewegten Ekliptik rückwärts, und dieses letztere Rückwärtsgehen, dessen Grösse die Astronomie mit dem Buchstaben ψ_t bezeichnet, heisst allgemeine Präcession der Aequinoktialpunkte [218]. Nach den neuesten Untersuchungen darf für den Zeitraum von t Jahren $\psi_t = 50'',21129\, t + 0'',0001221483\, t^2$ gesetzt werden [219].

§. 13. **Nutation.** Wir haben in §. 6 Bradley's Versuche kennen gelernt, durch Beobachtungen an Zenitalsternen deren jährliche Parallaxe zu finden, und wir erfuhren damals, dass dieser nächste Zweck freilich nicht erreicht, wohl aber eine Entdeckung von vielleicht noch grösserer Tragweite, nämlich die der Licht-Aberration, gemacht wurde. Ein zweites Nebenprodukt jener mühsamen Untersuchung bildet die sogenannte Nutation. Am 31. December veröffentlichte Bradley ein an Lord Macclesfield gerichtetes Sendschreiben, welches später in die von Rigaud besorgte Briefsammlung aufgenommen wurde [220]. Darin stellte er folgende zwei Thesen auf: I) Die Erdaxe ist während eines Umlaufes der Mondknoten einem Schwanken unterworfen, welches bis auf 18″ steigt; II) Dieses Schwanken ist auch mit einer Ungleichheit im Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen verknüpft. Unterstützt durch den unermüdlichen Zahlenrechner Machin, gab der Entdecker eine einstweilige Hypothese zur Erklärung dieser neuen Bewegungsanomalie an; diese Erklärung kommt dem Grundgedanken nach auf das Nämliche heraus, wie früher die (in §. 10 abgehandelte) Trepidationshypothese, drückte aber die Beobachtungen bis auf etwa 2″ genau aus. Sodann gelang es D'Alembert, auch die Nutation mit dem Newton'schen Gesetze und mit der sphäroidalen Gestalt der Erde in Uebereinstimmung zu bringen [221].

Der äquatoriale Wulst der Erde bewirkt, wie wir sahen, die Präcession; würde die (scheinbare) Sonne, statt in der Ebene der Ekliptik, in derjenigen des Aequators umlaufen, so würde diese Massenanhäufung sich nicht durch attraktive Störungen geltend machen können. Immerhin ist das Vorrücken des Aequators, soweit die Sonne allein

in Frage kommt, ein gleichförmiges, weil jene genau ein halbes Jahr über und genau ein halbes Jahr unter dem Aequator sich befindet. Nun kommt aber noch der Mond hinzu, der nicht in der Ebene der Ekliptik seine Bahn beschreibt und deswegen auch nicht gleichförmig an den Wirkungen der Präcession participirt. Seine Bahnebene bildet mit der Ekliptik einen Winkel von etwas mehr als 5°, und in 18 Jahren gehen die gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte (Knoten) beider Kreise einmal um die ganze Peripherie herum. Es muss mithin der Antheil, welcher bei der Lunisolarpräcession allein auf den Mond kommt, ein veränderlicher, jedoch, wie eben schon Bradley fand, an eine Periode von 18 Jahren gebunden sein. Fig. 51, die nach J. J. v. Littrow [222] gehalten ist, versucht das Wesen der oscillatorischen Gesammtbewegung im Bilde darzustellen. PQRS ist ein um den Pol E der Ekliptik mit einem Radius von 23½° beschriebener Kugelkreis, in dessen Peripherie der Pol P, der Richtung des Pfeiles folgend und jener der Zeichen entgegen, jährlich um etwa 50″ sich weiter bewegt. Die allgemeine Präcession (der Planeten) bringt die Ekliptik aus ihrer Lage und bewirkt so, dass der Pol der Ekliptik nicht mehr ganz ruhig verbleibt, sondern den Punkt E in einer gekrümmten Linie efgh umläuft. Damit endlich auch der Nutation ihr Recht werde, darf man den Aequator-Pol nicht mehr einfach in einem Kreise, sondern in einer Wellenlinie Ppgrs einhergehen lassen, in welcher der wahre Pol p dem mittleren Pol P gegenüber bald etwas voran-, bald etwas nachsteht, indem er sich zugleich dem mittleren Pole der Ekliptik jetzt etwas nähert, dann wieder von ihm entfernt.

Fig. 51.



Die Nutation ändert sowohl die Lage des aufsteigenden Knotens der Mondbahn, als auch die Schiefe der Ekliptik. Unter ☊ verstehen wir im Folgenden die Länge des aufsteigenden Knotens, unter ☉ und ☾ die Länge der Mittelpunkte von Sonne und Mond, unter P die Länge des Perihels der Sonne, unter P′ diejenige des Perigäums der Mondbahn, unter λ diejenige eines Sternes, unter ε die Ekliptikschiefe. Dann sind die auf Rechnung der Nutation zu setzenden Abänderungen $\Delta\lambda$ und $\Delta\varepsilon$ durch folgende von C. A. F. Peters [223] aufgestellte Gleichungen gegeben:

$$\Delta\lambda = -17'',2405 \sin ☊ + 0'',2073 \sin 2☊ - 1'',2692 \sin 2☉ - 0'',2041 \sin 2☾ + 0'',1279 \sin (☉ - P) - 0'',0213 \sin (☉ + P) + 0'',0677 \sin (☾ - P');$$

$$\Delta\varepsilon = + 9'',2231 \cos ☊ - 0'',0897 \cos 2☊ + 0'',5509 \cos 2☉ + 0'',0886 \cos 2☾ + 0'',0093 \cos(☉ + P).$$

Als Epoche gilt der Anfang des Jahres 1800. Anderweite Forschungen über Art und Grösse der Nutation besitzt man von v. Lindenau [224], Lundahl [225], Nyrén [226] und Tägert [227]. Dem Letztgenannten gebührt das Verdienst, den Beweis für die bereits von Laplace erkannte Thatsache, dass bei ausschliesslicher Berücksichtigung der ersten Potenzen der störenden Kräfte die Meeres-

schwankungen auf Präcession und Nutation nicht erkennbar einwirken, auch auf die Quadrate jener kleinen Grössen erstreckt zu haben*).

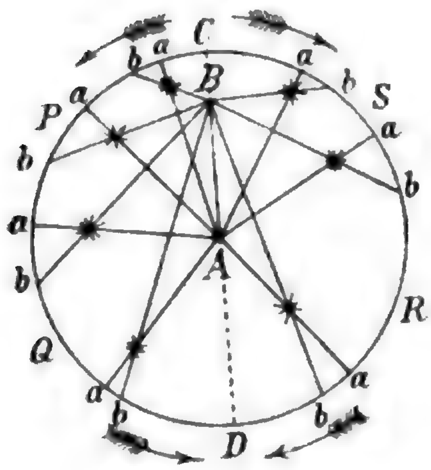
§. 14. **Die Fortbewegung des Sonnensystemes im Raume.** Alle kosmisch nachweisbaren Bewegungen der Erde sind in den dreizehn ersten Paragraphen dieses Kapitels durchgesprochen worden, eine einzige ausgenommen. Diese letztere würde nach der Ansicht Mancher überhaupt aus einem Lehrbuche der Geophysik fortbleiben dürfen, da ihr auf den ersten Blick allerdings keine Bedeutung für unsere Zwecke zugeschrieben werden zu können scheint. Und doch beruht diese Meinung auf einem Irrthume, denn schon im ersten Kapitel der nun folgenden dritten Abtheilung werden wir uns überzeugen, dass von einem Fachmanne ersten Ranges, von Poisson, diese Bewegungsform in nächsten Zusammenhang mit dem gegenwärtigen Erwärmungszustande des Erdkörpers gebracht worden ist. Wir meinen diejenige Bewegung der Erde, welche sie im Gefolge der selbst ihren Ort im Raume wechselnden Sonne mitzumachen genöthigt ist, und welche für einen im Raume absolut stabil aufgestellten Beobachter — Körper Alpha nach Carl Neumann's Definition [229] — den Eindruck hervorrufen muss, dass die Erde nicht sowohl in einer geschlossenen Ellipse, als vielmehr in einer Epicykloide mit Durchschlingungen sich fortbewege.

Der erste Astronom, welcher den altehrwürdigen Begriff „Fixstern" in's Schwanken brachte und für eine ganze Anzahl dieser Gestirne eine von den bekannten Ortsveränderungen innerhalb des Sonnensystemes unabhängige Eigenbewegung nachwies, war der ältere Tobias Mayer [230]. Weitere Schlüsse zog er aus dieser Wahrnehmung zunächst nicht; es musste also dahin gestellt bleiben, ob hier wirklich Fixsternbewegungen vorlagen, oder ob vielleicht die Sonne die ihr beigelegte Eigenschaft völliger Unbeweglichkeit nicht besass, oder ob wohl gar beide Bewegungsgattungen in einander griffen. Für die Fortbewegung der Sonne im Raume sprach sich mit aller Entschiedenheit zuerst Lambert anlässlich seiner grossartig kühnen Konstruktion der Sternsysteme höherer Ordnung aus. Schon der Umstand, dass sich die Sonne um ihre eigene Axe dreht, schien ihm genügend, ihr auch eine fortschreitende Bewegung als unumgängliche begleitende Eigenschaft beizulegen [231]; „Die Sonne," diess sind seine Worte [232], „mag immerhin im Mittelpunkt ihres Systemes sein und die Planeten und Kometen um sich her wandeln lassen. Sie ist es nicht mehr als Jupiter und Saturn in Absicht auf ihre Trabanten. Dass sie aber im Mittelpunkt des ganzen Weltgebäudes seie, das ist noch lange nicht ausgemacht, und wenn sie es auch einmal wäre, so würde sie bald wieder daraus weggerückt werden." Ja, er sprach sogar schon die Hoffnung aus, dass es dereinst gelingen werde, die von der bewegten Sonne innegehaltene Richtung anzugeben oder, wie man sich später ausdrückte, den Apex der Sonnenbewegung an der Himmelskugel zu ermitteln. Dieses Problem lösten denn auch

*) Aus dem oben Angeführten folgt, dass es auch eine solare Nutation von halbjähriger Periode geben muss, indessen ist diese nur sehr klein und erhebt sich im Maximum zu einer halben Sekunde [228].

W. Herschel [233] und P. Prevost [234], doch war Letzterer nach R. Wolf [235], als er seine Arbeit begann, schon nicht mehr ganz ohne Kenntniss von Herschel's Entwürfen. Der Gedankengang des Letzteren ist ein überaus einfacher. A (Fig. 52) stellt den Mittelpunkt der Ekliptik PQRS dar; es wird angenommen, dass sich die Sonne in der Richtung des Diameters DC bewege und nach einiger Zeit in B ankomme. Rings herum in der Ebene dieses Kreises sind Sterne vertheilt, und wenn nur AB gross genug ist, um den parallaktischen Winkel genügend hervortreten zu lassen, so müssen die — auf der Ekliptik abgemessenen — Längen jener Sterne eine Veränderung erleiden; jeder einzelne Stern erscheint von a nach b verschoben. Zur rechten Hand wachsen die astronomischen Längen, zur linken nehmen sie ab. Speziell gegen den Apex C hin treten die Sterne aus einander, gegen den diametral entgegengesetzten Punkt D hin nähern sie sich einander, wie beides die Pfeile ausdrücken. Eine ähnliche Erscheinung stellt sich einem Jeden vor Augen, der eine lange Allee durchwandert. Man erkennt jetzt aber, wie Herschel durch das Studium einer möglichst zahlreiche Längen-Veränderungen enthaltenden Tabelle die Lage von AC zu fixiren in den Stand gesetzt wurde.

Fig. 52.



Neuen Aufschwung erhielt dieser interessante Zweig astronomischer Forschung durch eine Monographie Argelander's [236]. Ausser ihm haben Gauss, Lundahl, Galloway, Main, Stone, Proctor, Gould u. a. Beiträge geliefert; besonders eingehend hat sich mit der Frage auch Mädler beschäftigt, der aus drei gesonderten Sterngruppen, resp. 227, 663 und 1273 Einzelsterne umfassend, für Rektascension und Deklination des Apex jeweils diese Werthe erhielt [237]:

$262^\circ 0',8$ und $39^\circ 35',2$; $261^\circ 14',4$ und $37^\circ 53',6$; $261^\circ 32',2$ und $42^\circ 21',9$.

Der Punkt hat positive Deklination, gehört also der Nordhalbkugel an.

Auf diesem Wege wird man sich den wahren Werthen mit immer grösserer Genauigkeit zu nähern und wohl auch mit der Zeit die Geschwindigkeit der translatorischen Bewegung unseres Systemes zu schätzen vermögen*). Wahrscheinlich ist diese keine so schnelle, dass die aus ihr folgende Versetzung der Erde in immer neue kosmische Regionen irgendwelche tellurische Rückwirkung äussern könnte.

*) Doppler hat bekanntlich [238] das farbige Licht der Sterne aus deren eigener Bewegung zu erklären versucht, indem diese, je nach ihrem Sinne, die Lichtwellen verlängere oder verkürze. Man hat deshalb auch wohl daran gedacht, dieses Doppler'sche Princip für die oben ventilirte Frage nutzbar zu machen, doch wird die Hoffnung, dass diess gelingen werde, von Newcomb mit Recht als eine sehr unsichere bezeichnet, wie z. B. folgende Betrachtung lehrt [239]: „Einer Bewegung von 75 km in der Sekunde entspricht nur eine Verschiebung von einem Sechstel der Entfernung der beiden Natriumlinien oder von 0,000001 mm, und Bewegungen von dieser Grösse kommen zwar am Sternhimmel vor, scheinen aber nicht sehr häufig zu sein."

[1] Chabas, Sur un texte égyptien relatif au mouvement de la terre, Zeitschr. f. ägypt. Spr. u. Alterthumsk., Decemb. 1864. — [2] H. Martin, Hypothèse astronomique de Pythagore, Bullett. di bibliogr. e di storia delle science mat. e fis., Tomo V. S. 99 ff.; Id., Hypothèse astronomique de Philolaus, ibid. Tomo V. S. 127 ff. — [3] Schiaparelli, Die Vorläufer des Coppernicus im Alterthum, deutsch von Curtze, Leipzig 1876. S. 2 ff. — [4] Ibid. S. 5. — [5] Böckh, Philolaos des Pythagoreers Leben und Bruchstücke aus seinen Werken, Berlin 1819. S. 90 ff. — [6] Schiaparelli, Die Vorläufer etc. S. 22 ff. — [7] Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Stuttgart 1882. S. 32 ff. — [8] Grote-Holzamer, Platon's Lehre von der Rotation der Erde und die Auslegung derselben durch Aristoteles, Prag 1861. — [9] Schiaparelli, Die Vorläufer etc. S. 47 ff. — [10] Ibid. S. 49. — [11] Ibid. S. 69 ff. — [12] Ibid. S. 79 ff. — [13] Ibid. S. 99. — [14] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 53. — [15] Ibid. S. 28 ff. — [16] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Alexander v. Humboldt und Carl Ritter, München 1877. S. 132. — [17] Sprenger, The Copernican system of astronomy among the Arabs, journal of the r. asiatic society of Bengal, Vol. XXV. S. 189 ff. — [18] Günther, Studien etc. S. 113. — [19] Carové, Galileo Galilei, Siegen und Wiesbaden 1842. S. 47. — [20] Venturi, Essai sur les ouvrages de Léonard da Vinci, Paris 1797. S. 7. — [21] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 231. — [22] Hipler, Die Vorläufer des Nikolaus Coppernicus, insbesondere Celio Calcagnini, Mitth. d. Copp.-Vereines f. Wissensch. u. Kunst zu Thorn, 4. Heft. S. 69 ff. — [23] Celii Calcagnini de perenni motu terrae tractatus, deutsch von Schlüter, Natur u. Offenbarung, 1879. S. 575 ff. — [24] Prowe, Nikolaus Coppernicus, I. Band, 1. Theil, Berlin 1883. S. 317. — [25] Ibid. I. Band, 1. Theil, S. 343. — [26] Ibid. I. Band, 2. Theil, S. 382 ff. — [27] Nikolaus Coppernicus aus Thorn, Ueber die Kreisbewegungen der Weltkörper, deutsch von Menzzer, Thorn 1879. — [28] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Rücksicht auf Schöpfungsgeschichte, 1. Abtheilung, Gütersloh 1877. S. 663. — [29] Ibid. S. 591. — [30] Nik. Coppernicus, Ueber etc. S. 22. — [31] Mädler, Geschichte der Himmelskunde von der ältesten bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Braunschweig 1873. S. 200 ff. — [32] Ibid. S. 319. — [33] Ibid. S. 289. — [34] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 245. — [35] Kästner, Geschichte der Mathematik, 4. Band, Göttingen 1800. S. 113. — [36] Mädler, Reden und Abhandlungen über Gegenstände der Himmelskunde, Berlin 1870. S. 133 ff. — [37] Bode, Gedanken über vermuthete Veränderungen der Erdpole und Axe, der Gesellsch. naturf. Freunde zu Berlin neue Schriften, 2. Band. S. 303 ff. — [38] Stark, Ueber die Möglichkeit einer Axenveränderung der Erde, München 1875. — [39] Gregory, Versuche über die permanenten Rotationsaxen, Ann. d. Phys. u. Chem., (1) 14. Band. S. 57 ff. — [40] Bessel, Ueber den Einfluss der Veränderungen des Erdkörpers auf die Polhöhen, Zeitschr. f. Astr. u. verw. Wissensch., 5. Band. S. 25 ff. — [41] Gyldén, Recherches sur la rotation de la terre, Upsala 1871. — [42] G. H. Darwin, On the influence of geological chances on the earth's axis of rotation, Phil. Transact., Vol. CLXVII. S. 271 ff. — [43] Prowe, Nik. Coppernicus, I. Band, 1. Theil. S. 240 ff. — [44] W. Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure physiologia nova, Londini 1600. S. 212. — [45] Zöllner, Ueber die Natur der Cometen, Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntniss, Leipzig 1883. S. 118 ff. — [46] Hertz, Betrachtungen über die continuirlichen Ströme, welche die flutherregende Wirkung der Gestirne im Meere veranlassen muss, Verhandl. d. phys. Gesellsch. in Berlin vom 5. Januar 1883. — [47] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, IX. Band, 1. Abtheilung, Leipzig 1838. S. 61 ff. — [48] Schönfeld, Neuere Untersuchungen über die Constanz der Rotationszeit der Erde. Ausland 1879. S. 181 ff. — [49] Newcomb, On the possible variability of the earth's axial rotation, as investigated by M. Glasenapp, Boston 1874 — [50] Bertelli, Appunti storici intorno alle ricerche sui piccoli e spontanei moti dei pendoli, fatte dal secolo XVII in poi, Bullett. di bibliogr. e di storia delle scienze mat. e fis., tomo VI. S. 1 ff. — [51] Ibid. S. 5. — [52] Ibid. S. 14. — [53] Ibid. S. 17. — [54] Parnisetti, Osservazioni meteorologiche fatte in Alessandria alla specola del seminario durante l'eclisse parziale del sole 18 luglio, Alessandria 1860. — [55] Ph. Plantamour, Sur les mouvements périodiques du sol, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XCII. S. 330. — [56] Günther, Die sichtbaren und fühlbaren Wirkungen der Erdrotation, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 328 ff. S. 359 ff. — [57] J. J. v. Littrow, Wunder des Himmels, (5. Auflage) Stuttgart 1865. S. 49. — [58] Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879. S. 303.

— [59] Guglielmini, De diurno terrae motu, experimentis mathematico-physicis confirmato, Bononiae 1791. — [60] Benzenberg, Versuche über die Gesetze des Falles, den Widerstand der Luft und die Umdrehung der Erde, Hamburg 1791. — [61] Reich, Fallversuche über die Umdrehung der Erde, Freiberg 1832. — [62] Kästner, Geschichte der Mathematik, 3. Band, Göttingen 1799. S. 422 ff. — [63] Kästner, Anfangsgründe der höhern Mechanik, welche von der Bewegung fester Körper besonders die praktischen Lehren enthält, Göttingen 1793. S. 53. — [64] Buff, Der Einfluss der Umdrehung der Erde um ihre Axe auf irdische Bewegungen, Ann. d. Chem. u. Pharm., 4. Supplementband. S. 207 ff. — [65] Zöppritz, Ueber den angeblichen Einfluss der Erdrotation auf die Gestaltung von Flussbetten, Verhandl. d. II. deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 47 ff. — [66] Benoni, Der Einfluss der Axendrehung der Erde auf das geographische Windsystem, Petermann's geogr. Mittheil., 23. Band. S. 95. — [67] D'Alembert, Sur le mouvement des corps pesans, en ayant égard à la rotation de la terre, Hist. de l'acad. royale des sciences, Année 1771. S. 10 ff. — [68] Poisson, Extrait de la première partie d'un mémoire sur le mouvement des projectiles dans l'air, en ayant égard à leur rotation et à l'influence du mouvement diurne de la terre, Compt. rend. de l'acad. franç., tome V. S. 660 ff. — [69] Finger, Ueber den Einfluss der Erdrotation auf parallel zur sphäroidalen Erdoberfläche in beliebigen Bahnen vor sich gehende Bewegungen, Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wissschftn. zu Wien, Math. Kl., 76. Band. S. 67 ff. — [70] Darapsky, Ueber den Einfluss der Erdrotation auf die Abweichungen der aus gezogenen Rohren abgeschossenen Projektile, Dingler's polytechnisches Journal, 180. Band. S. 98 ff. — [71] Maury, Physische Geographie des Meeres, deutsch von Bötticher, Berlin 1856. S. 29. — [72] Martus, Astronomische Geographie; ein Lehrbuch angewandter Mathematik, Berlin 1880. S. 179. — [73] Zöppritz, Recension hiezu, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 77. — [74] Wiegand, Grundriss der mathematischen Geographie, Halle 1869. S. 26 ff. — [75] Hallbauer, Ueber den Einfluss der Axendrehung der Erde auf das Entgleisen von Eisenbahnen, Civilingenieur, 15. Band. S. 170 ff. — [76] v. Bär, Ueber ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung der Flussbetten, Bull. de l'acad. imp. des sciences de St. Pétersbourg, tome II., 1860. S. 357. — [77] Braschmann, Note concernant la pression des waggons sur les rails droits et des courants d'eau sur la rive droite du mouvement en vertu de la rotation de la terre, Compt. rend. de l'acad. franç., tome IV. S. 1068 ff. — [78] Lindelöf, Sur l'influence qu'exerce la rotation de la terre sur un corps mu suivant sa surface, Cosmos, tome XV. S. 697 ff. — [79] Perrot, Nouvelle expérience pour rendre manifeste le mouvement de rotation de la terre, Compt. rend. de l'acad. franç., tome IL. S. 637. — [80] Braschmann, Sur l'expérience de M. Perrot, Bull. de l'acad. imp. des sciences de St. Pétersbourg, tome I., 1860. S. 571 ff. — [81] Denzler, Ueber den Einfluss der Rotation der Erde auf die strömenden Gewässer, Mittheil. d. naturf. Gesellsch. zu Bern, 1857. S. 116 ff. — [82] R. Wolf, Zur Erinnerung an Hans Heinrich Denzler, Basel 1874. S. 18. — [83] Ludwig, Einige wichtigere Abschnitte der mathematischen Botanik, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 14. Jahrgang. S. 162. — [84] Wiesner, Ueber den Einfluss der Erdschwere auf die Grössen- und Formverhältnisse der Pflanzen, Wien 1868. — [85] Wiesner, Elemente der Anatomie und Physiologie der Pflanzen, Wien 1881. S. 240 ff. — [86] Günther, Ueber die Vorgeschichte des Foucault'schen Pendelversuches, Sitzungsber. d. phys.-med. Societät zu Erlangen vom 22. Mai 1873. — [87] Galileus, Dialogus de systemate mundi, Lugduni 1641. S. 344. — [88] Wallis, Inquiry and directions concerning tides, Phil. Transact., Vol. I. S. 265 ff. — [89] D. Cassini, Vom Ursprung, Fortgang und Aufnehmen der Sternkunde und deren Nutzen in der Erdbeschreibung und Schifffahrt, deutsch von Kordenbusch, Nürnberg 1771. S. 101 ff. — [90] Perpendiculorum inconstantia ab Alexandro Calignono nobili Delphinate excogitata; a Petro Gassendo bona fide tradita et pulchro commentario exornata; a Joanne Caramuele Lobkowitz examinata et false reperta, Lovanii 1643. — [91] Gassendi, Novem stellae circa Jovem visae Coloniae exeunte anno 1642 et ineunte 1643; accessit observatio geminata in singulos dies aestus maris instar reciprocationis perpendiculorum, Lovanii 1643. — [92] Bouguer, Sur la direction qu'affectent les fils du plomb, Mém. de l'acad. r. des sciences, Année 1754. S. 250 ff. — [93] A. Mayer, Dissertatio de deviatione et reciprocatione penduli, Gryphiswaldae 1767. — [94] Doppelmayr, Historische Nachricht von den Nürnbergischen Mathematicis und Künstlern, Nürnberg 1730. S. 127. — [95] R. Wolf, Handbuch der Mathematik, Physik, Geodäsie und Astronomie, 2. Band, Zürich 1872. S. 223. — [96] Foucault, Démonstration physique du mou-

vement de rotation de la terre au moyen du pendule, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XXXII. S. 138 ff. — [97] Hansen, Theorie der Pendelbewegung mit Rücksicht auf die Gestalt und die Bewegung der Erde, Danzig 1853. — [98] Röthig, Der Foucault'sche Pendelversuch; eine historisch-didaktische Studie, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 24. Band, hist.-lit. Abth. S. 153 ff. — (99) Ordinaire de Lacologne, Théorie géométrique du pendule de Foucault, Mém. de la soc. des sciences phys. et nat. de Bordeaux, (2) tome IV. S. 339 ff. — [100] Franz, Das Foucault'sche Pendel, Halle 1872. S. 22 ff. — [101] Pick, Der Foucault'sche Pendelversuch, Zeitschr. f. d. Realschulwesen, 1. Jahrgang. S. 135 ff. S. 211 ff. S. 393 ff. — [102] Tammen, Ueber den Foucault'schen Pendelversuch, (Carl's) Repert. f. Experimentalphysik, 18. Band. S. 278 ff. — [103] W. Schell, Theorie der Bewegung und Kräfte, Leipzig 1870. S. 55. — [104] Pick, Der Foucault'sche Pendelversuch, S. 401. — [105] Pieper, Zur Kritik des Foucault'schen Pendelversuches, Dessau 1882. S. 10. — [106] Siacci, Il pendolo di Leone Foucault e la resistenza dell' aria, Torino 1878. S. 10. — [107] Bravais, Mémoire sur l'influence qu'exerce la rotation de la terre sur le mouvement d'un pendule à oscillations coniques, Journ. d. mathém. pures et appl., tome XIX. S. 1 ff. — [108] Bravais, Sur les systèmes dans lesquelles les vibrations dextrogyres et levogyres n'effectuent pas de la même manière, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XXXII. S. 166. — [109] Onnes, Nieuwe bewijzen voor de aswenteling der aarde, Groningen 1879. — [110] Schering, Recension hiezu, Gött. gel. Anzeigen, 1883. S. 71. — [111] Onnes, Nieuwe bewijzen etc. S. 247 ff. — [112] Ideler, Ueber Eudoxus, Abhandl. d. k. preuss. Akad., Phil.-hist. Kl., 1828. S. 189 ff., 1830. S. 49 ff. — [113] Cornewall Lewis, An historical survey of the astronomy of the anciens, London 1862. S. 153 ff. — [114] Schiaparelli, Le sfere omocentriche di Eudosso di Calippo e di Aristotele, Milano 1874. — [115] Schiaparelli, Die homocentrischen Sphären des Eudoxus, des Calippus und des Aristoteles, deutsch von Horn, Abhandl. z. Gesch. d. Math., 1. Heft, Leipzig 1877. S. 101 ff. — [116] H. Martin, Mémoire sur les hypothèses astronomiques d'Eudoxe, de Calippe et d'Aristote, Paris 1881. — [117] Tannery, Seconde note sur le système astronomique d'Eudoxe, Mém. de la soc. des sciences phys. et nat. de Bordeaux, (2) tome V. S. 129 ff. — [118] Günther, Studien etc. S. 78. — [119] Le guide des égarés; traité de théologie et de philosophie par Moise ben Maimon ... par Munck, tome I., Paris 1856. S. 358. — [120] Hieronymi Fracastori Homocentrica ejusdem de causis criticorum dierum, (ohne Druckort) 1538. — [121] Bedae Venerabilis opera omnia, Vol. I., Coloniae 1612. S. 330. — [122] Schiaparelli, Die Vorläufer etc. S. 61. — [123] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 45 ff. — [124] Ibid. S. 50 ff. — [125] H. J. Klein, Populäre astronomische Encyklopädie, Berlin 1871. S. 120 ff. — [126] Möbius, Elemente der Mechanik des Himmels, auf neuem Wege ohne Hülfe höherer Rechnungsarten dargestellt, Leipzig 1843. S. 46 ff. — [127] R. Wolf, Gesch. etc. S. 79. — [128] Schiaparelli, Die Vorläufer etc. S. 52 ff. — [129] Macrobius, Commentarius in somnium Scipionis, lib. I. cap. 19. — [130] Marcianus Capella, De nuptiis Philologiae et Mercurii libri duo, lib. I. cap. 8. — [131] Narducci, Intorno a vari comenti fin qui inediti e sconosciuti al „Satyricon" di Marziano Capella, Roma 1883. S. 7 ff. — [132] Tycho Brahe, Astronomiae instauratae progymnasmata ... typis inchoata Uraniburgi Daniae, absoluta Pragae Bohemiae 1609. S. 477 ff. — [133] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 245 ff. — [134] Schinz, Würdigung des tychonischen Weltsystemes aus dem Standpunkte des 16. Jahrhunderts, Halle 1856. — [135] Raymarus Ursus, Tractatus astronomicus de hypothesibus astronomicis, sive de systemate mundi, Pragae 1597. — [136] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 245. — [137] Prowe, Nik. Coppernicus, I. Band, 2. Theil, S. 290 ff. — [138] Aristarchi Samii de mundi systemate, partibus et motibus ejusdem liber singularis, cum notis ed. Roberval, Parisiis 1647. — [139] Archimedis opera omnia cum commentariis Eutocii, ed. Heiberg, Vol. II., Lipsiae 1881. S. 245. — [140] J. W. H. Lehmann, Ueber den Einfluss der Bewegung der Erde um die Sonne auf die Bewegung eines freihängenden Pendels, Astron. Nachr. Nr. 925. — [141] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 398. — [142] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 1. Cyklus, Zürich 1858. S. 93. — [143] v. Gebler, Galileo Galilei und die römische Curie, 1. Band, Stuttgart 1876. S. 26. — [144] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 544 ff. — [145] J. J. v. Littrow, Wunder des Himmels, S. 117 ff. — [146] Bessel, Bestimmung der Entfernung des 61. Sternes des Schwanes, Astron. Nachr. Nr. 365. 366. — [147] Gyldén, Die Grundlehren der Astronomie, Leipzig 1877. S. 363. — [148] Ch. Dufour, Mémoire sur une nouvelle méthode pour déterminer la distance de quelques étoiles, Bull. de la soc. Vaudoise des sciences phys. et nat., tome X. S. 1 ff. — [149] J. J. v. Littrow,

Wunder des Himmels, S. 121 ff. S. 134 ff. — [150] W. v. Struve, Sur le coefficient constant dans l'aberration des étoiles fixes, St. Pétersbourg 1843. — [151] Wernicke, Die Entdeckung der endlichen Lichtgeschwindigkeit durch Olaus Römer, Zeitschr. f. Math. u. Phys.. 25. Jahrgang, hist.-lit. Abtheilung. S. 1 ff. — [152] Nik. Coppernicus, Ueber etc. S. 29. — [153] Menzzer, Ueber den Zusammenhang der Rotation und Revolution, die dritte von Coppernicus entdeckte Bewegung der Erde und das Rotationsgesetz, Halberstadt 1868. — [154] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 228. — [155] Nik. Coppernicus, Ueber etc., S. 10 der Anmerkungen. — [156] Th. Gilbert, Les preuves mécaniques de la rotation de la terre, Bull. des sciences math. et astron., (2) tome VI. S. 189 ff. — [157] Bohnenberger, Beschreibung einer Maschine zur Erläuterung des Gesetzes der Umdrehung der Erde, Tübingen 1817. — [158] Günther, Studien etc. S. 86. — [159] Ibid. S. 40. — [160] Nik. Coppernicus, Ueber etc., S. 22 der Anmerkungen. — [161] Göbel, Ueber Kepler's astronomische Anschauungen und Forschungen; ein Beitrag zur Entdeckungsgeschichte seiner Gesetze, Halle 1871. — [162] Himmer, Astronomische Geographie, Kaiserslautern 1883. S. 20. — [163] Göbel, Ueber etc. S. 45. — [164] Ibid. S. 62 ff. — [165] Ibid. S. 72 ff. — [166] Ibid. S. 80 ff. — [167] Ibid. S. 101 ff. — [168] Ibid. S. 107 ff. — [169] Ibid. S. 120. — [170] Autenheimer, Elementarbuch der Differential- und Integralrechnung, Weimar 1865. S. 402. — [171] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Meteorologie und Klimatologie, Zürich 1880. S. 11 ff. — [172] Ibid. S. 18. — [173] Zöppritz, Recension hiezu, Mittheil. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 240 ff. — [174] Günther, Geophysikalische Hypothesen, geprüft durch Libellen- und Pendel-Apparate, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 328 ff. — [175] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 41 ff. — [176] Mädler, Populäre Astronomie, 6. Auflage, herausgeg. von Klinkerfues, Strassburg 1882. S. 382 ff. — [177] Prowe, Nik. Coppernicus, I. Band, 1. Theil. S. 244. — [178] Laplace, Sur la diminution de l'obliquité de l'écliptique, qui résulte des observations des anciens, Conn. des temps pour l'an 1811. — [179] Mädler-Klinkerfues, Pop. Astr. S. 396. — [180] Ibid. S. 28. — [181] Möbius, Die Elemente etc. S. 287. — [182] Croll, On the physical cause of the change of climate during geological epochs, Phil. Mag., (4) Vol. XXVII. S. 130. — [183] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, VIII. Band, Leipzig 1836. S. 879 ff. — [184] Ibid. S. 882. — [185] Croll, On the excentricity oj the earth's orbit, and its physical relation to the glacial epoch, Phil. Mag., (4) Vol. XXXII. S. 119 ff. — [186] Croll, On the change of the obliquity of the ecliptic, its influence of the climate of the polar regions and on the level of the sea, ibid. Vol. XXXII. S. 430 ff. — [187] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 158. — [188] Ibid. S. 159. — [189] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., IX. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1840. S. 2129 ff. — [190] Aristotelis libri reliqui cum Averrois in eosdem paraphrasibus, Venetiis 1566. tom. VI. pars 2. — [191] Benfey, Orient und Occident, 2. Jahrgang. S. 753 ff. — [192] v. Segner, Astronomische Vorlesungen, 1. Theil, Halle 1775. S. 188. — [193] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., IX. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1840. S. 2133 ff. — [194] Ibid. S. 2146 ff. — [195] Günther, Studien etc. S. 46 ff. — [196] Schiaparelli-Horn, Die homoc. Sphären etc. S. 125 ff. — [197] Werner, De motu octavae sphaerae tractatus, Norimbergae 1522. — [198] Fracastor, Homocentrica etc. fol. 11. — [199] Günther, Der Wapowski-Brief des Coppernicus und Werner's Traktat über die Bewegung der achten Sphäre, Mittheil. d. Copp.-Vereins f. Wissensch. u. Kunst zu Thorn, 2. Heft. S. 3 ff. — [200] Prowe, Nik. Coppernicus, I. Band, 2. Theil. S. 217 ff. — [201] Sir Isaac Newton's mathematische Principien der Naturlehre, Berlin 1872. S. 455 ff. — [202] v. Lang, Einleitung in die theoretische Physik, 1. Theil, Braunschweig 1867. S. 117 ff. — [203] Gerlach, Die Bestimmung der Gestalt und Grösse der Erde, Wien 1782. S. 119 ff. — [204] Newton, Math. Princ. etc. S. 459. — [205] D'Alembert, Untersuchungen über die Präcession der Nachtgleichen und die Nutation der Erdaxe, deutsch von Seuffert, Nürnberg 1857. — [206] Ibid. S. 32 ff. — [207] Laplace, Sur les variations de l'obliquité de l'écliptique, et de la précession des équinoxes, Conn. des temps pour l'an 1827. — [208] Th. Gilbert, S. 215 ff. — [209] Ibid. S. 218 ff. — [210] Ibid. S. 221 ff. — [211] Th. Gilbert, Recherches sur les mouvements relatifs, Ann. de la soc. scientif. de Bruxelles, III (A). S. 70 ff. — [212] Th. Gilbert. Étude historique et critique sur le problème de la rotation d'un corps solide autour d'un point fixe, ibid. II (B). S. 255 ff. — [213] Munker, Eine elementare Erklärung der Präcessionsbewegung mit Berücksichtigung der Reibung, Abhandl. d. naturf. Gesellsch. zu Nürnberg, 7. Band. S. 193 ff. — [214] Poggendorff. Bio-

graphisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften, 1. Band, Leipzig 1863. S. 741. — [215] Munker, S. 202 ff. — [216] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., IX. Band, 3. Abtheilung, S. 926 ff. — [217] Folie, Existence et grandeur de la précession et de la nutation diurne, Bruxelles 1882. — [218] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., IX. Band, 3. Abtheilung, S. 2144. — [219] Israel, Abriss der mathematischen Geographie, Wiesbaden 1882. S. 6. — [220] Bradley, A letter to the Rt. Hon. George Earl of Macclesfield concerning an apparent motion observed in some of the fixed stars, Miscellaneous works and correspondence, published by Rigaud, Oxford 1832. S. 17 ff. — [221] D'Alembert, Untersuchungen etc. S. 42 ff. S. 56 ff. — [222] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., IX. Band, 3. Abtheilung, S. 2164 ff. — [223] C. F. A. Peters, Numerus constans nutationis ex ascensionibus rectis stellae polaris deductus, Petropoli 1842. — [224] v. Lindenau, Versuch einer neuen Bestimmung der Nutations- und Aberrationsconstanten, Berlin 1842. — [225] Lundahl, De numeris nutationis et aberrationis constantibus atque de parallaxi annua stellae polaris, Helsingfors 1842. — [226] Nyrén, Bestimmung der Nutation der Erdaxe, St. Petersburg 1872. — [227] Tägert, Ueber die Einwirkung der Ebbe und Fluth auf die Präcession und Nutation, sowie auf die Drehungsgeschwindigkeit der Erde, Siegen 1880. — [228] Mädler-Klinkerfues, Pop. Astr. S. 113. — [229] C. Neumann, Ueber die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie, Leipzig 1870. S. 15. — [230] R. Wolf, Gesch. d. Astr. S. 731. — [231] Lambert, Cosmologische Briefe über die Einrichtung des Weltbaues, Augsburg 1761. S. 126. — [232] Ibid. S. 134. — [233] W. Herschel, On the proper motion of the sun and solar system, Phil. Transact., Vol. LXXV. S. 247 ff. — [234] P. Prévost, Mémoire sur le mouvement progressif du centre de gravité de tout le système solaire, Bode's astronom. Jahrbuch für 1786. — [235] R. Wolf, Biogr. z. Kulturgesch. d. Schweiz, 4. Cyklus, Zürich 1862. S. 180. — [236] Argelander, Ueber die eigene Bewegung des Sonnensystemes, St. Petersburg 1837. — [237] Mädler-Klinkerfues, Pop. Astr. S. 439. — [238] Doppler, Beiträge zur Fixsternkunde, Prag 1847. — [239] Newcomb, Populäre Astronomie, deutsch von Engelmann, Leipzig 1881. S. 530.

Kapitel V.

Die Graphik im Dienste der physischen Erdkunde.

§. 1. **Kartenprojektion.** Nachdem die Erde einmal als rund anerkannt war, handelte es sich darum, entweder ihre Gesammtoberfläche oder doch Theile derselben in einer Ebene darzustellen. Diess war die Aufgabe der Kartenprojektionslehre, deren Anfänge wir bis in ziemlich entlegene Zeiten zurückverfolgen können. Gehörte die Kugel zu jenen Flächen, welche die höhere Geometrie als developpabel bezeichnet, welche somit auf einer Ebene ohne Riss oder Falte ausgebreitet werden können, so würde die Herstellung von Erdbildern keine besonderen Schwierigkeiten bieten. Da diess jedoch nicht der Fall, da vielmehr die Kugelfläche mit der Ebene unter gar keinen Umständen zur vollständigen Deckung zu bringen ist, so können Abweichungen zwischen Original und Kopie niemals gänzlich vermieden werden, und der Kartenzeichner hat lediglich darauf zu sehen, dass die Fehler, welche er begeht, gegenüber dem von ihm augenblicklich angestrebten Zwecke möglichst wenig in's Gewicht fallen. Es sei gleich hier bemerkt, dass die Kugelgestalt der Erde, obwohl sie nach den Ergebnissen von Kap. I und III keine reine ist, gleichwohl von

der theoretischen Kartographie unbedenklich festgehalten werden darf, indem Wiechel fand, dass für einen Maassstab $> 1 : 5000000$ $< 1 : 100000$ die Abplattung solange ausser Beachtung bleiben darf, als die Maschenweite des Gradnetzes eine Breite von 5 cm nicht übersteigt [1]. Noch weniger ist natürlich an die geoidischen Anomalieen zu denken.

Die Geschichte unserer Disciplin beginnt*) keinesfalls vor Thales, der jedoch nicht sowohl die Erd- als vielmehr die Himmelskugel zur Gewinnung brauchbarer Sonnenuhren abzubilden versucht haben soll. Von ihm mögen wohl die Milesier Anaximander, Hekatäos und Aristagoras direkt und indirekt angeregt gewesen sein, deren letzterer um 500 v. Chr. eine eherne Tafel in Sparta vorzeigte, in welche die Umrisslinien des ganzen Erdkreises eingegraben waren [6]. Später scheint dann Dikäarch als Kartograph aufgetreten zu sein, doch fehlte seinen rohen Konceptionen nach Berger's Untersuchungen [7] noch ganz die mathematische Direktive; Eratosthenes führte mittelst der von Agathemeros ausdrücklich als „trapezförmig" bezeichneten Abbildungsart das erste Gradnetz ein: die Parallelkreise wurden gerade Linien, die Meridiane ebenfalls, während aber erstere ihren Parallelismus beibehielten, konvergirten letztere nach oben, so zwar, dass der durch Syene hindurchgehende Meridian auf der Parallelenschaar senkrecht stand [8]. Da es sich nur um die γῆ οἰκουμένη handelte, reichte dieses einfache Schema aus. Hipparch erfand zu astronomischen Zwecken die stereographische Projektion, welche diesen ihren Namen aber erst siebzehnhundert Jahre später von dem Jesuiten Aquilonius erhielt, Marinus der Tyrier die Plattkarten, und nach Art dieser letzteren fertigte Ptolemäus seinen berühmten und für das ganze Mittelalter maassgebend gewordenen Atlas an, dessen technische Ausführung er einem gewissen Agathodämon übertrug [9]. Ausser diesen geometrisch angelegten und nach den Weltgegenden orientirten**) Karten gab es auch geographische Faustzeichnungen, die Itinerarien oder Strassenkarten, welche die Krümmung der Erdoberfläche völlig ignorirten: unter ihnen ragt als ein historisch höchst merkwürdiges Denkmal die sogenannte tabula Peutingeriana hervor***).

---

*) Historische Abrisse der Projektionslehre hat man von D'Avezac [2], von Breusing [3] und von dem Verf. dieses [4]; eine mehr populäre Uebersicht über die wichtigsten Momente gab Le Monnier [5].

**) Die heute Jedermann in Fleisch und Blut übergegangene Orientirung geographischer Karten, bei welcher Norden oben, Süden unten sich befindet, ist erst verhältnissmässig neuen Datums. Wir haben über diese bisher zu wenig beachtete Frage einige, zunächst allerdings nur fragmentarische Notizen gesammelt [10], aus welchen erhellt, dass die orientalischen Völker — vermuthlich im Zusammenhange mit der ihnen eigenthümlichen Weise des Schreibens und Zählens von rechts nach links — gerade die der unseren entgegengesetzte Anordnung für die naturgemässe hielten. Die von Marinelli [11] reproducirte Weltkarte von Alby aus dem VIII. hat ebenso wie die einem angelsächsischen Priscianus-Kodex entstammende Karte aus dem X. Jahrhundert gar Osten oben, Westen unten.

***) Dieselbe stellt nicht etwa ein einheitliches Werk vor, vielmehr ist sie wahrscheinlich im Laufe der Zeiten aus sehr verschiedenartigen Bestandtheilen zusammengewachsen. Der äusserste Osten z. B. ist, wie neuerdings Tomaschek [12] wahrscheinlich zu machen gewusst hat, einem alten Vorbilde aus der Periode der Diadochen entnommen und verhältnissmässig gut ausgeführt.

Solche Diagramme hatte vermuthlich Propertius bei seinen Worten (Eleg. IV)

„Cogor et e tabula pictos ediscere mundos,
Ventus in Italiam qui bene vela ferat“

im Auge, und von wenig anderem Kaliber mag wohl auch das Kartenkabinet des Kaisers Augustus gewesen sein. Immerhin hat Philippi es wahrscheinlich zu machen gewusst, dass die berühmte „Weltkarte“ des Agrippa wenigstens nicht völlig der Projektion entbehrte [13].

Die Kartographie des patristischen Zeitalters verlor das Wesen einer mathematischen Uebertragung gekrümmter auf ebene Flächen vollständig aus den Augen, höchstens bei der Weltkarte des Anonymus von Ravenna ist insoferne noch eine Spur dieses Bewusstseins nachzuweisen, als die Gelehrten darüber im Unklaren sind, ob dieselbe kreisrund oder rechteckig gewesen sei [14]. Man weiss Marinelli's Mittheilungen zufolge [15] von etwa einem Dutzend Weltkarten aus dem früheren Mittelalter, doch sind dieselben fast sämmtlich verloren gegangen. Namentlich muss diess bedauert werden von den Kunstwerken, welche sich im Besitze Karl's des Grossen befanden, von dessen Enkel Ludwig aber vernichtet wurden. „Inter ceteros thesauros,“ so berichtet der Biograph Einhard [16], „ac pecunias tres mensas argenteas et auream unam praecipuae magnitudinis et ponderis esse constat . . . Tertiam, quae ceteris et operis pulchritudine et ponderis gravitate multum excellit, quae ex tribus orbibus connexa, totius mundi descriptionem subtili ac minuta figuratione complectitur, et auream illam, quae quarta esse dicta est, inter heredes suos atque in elemosinam dividendae partis augmentum esse constituit.“ Wahrscheinlich hat man es hier mit sogenannten Radkarten zu thun, wie sie im frühesten Mittelalter fast ausschliesslich üblich waren [17]. Auch die Araber brachten, was bei ihrem Sinn für das Mathematische Wunder nehmen darf, keinen rechten Fortschritt zuwege, wie Peschel [18] des Näheren dargelegt hat; die Weltbilder Edrisi's und Istachri's bleiben bedeutend hinter Dem zurück, was die späteren Alexandriner schon geleistet hatten; ja eine von Dewulf [19] veröffentlichte alt-arabische Karte der Nilländer ist um nichts besser, als ein rohes Croquis der Gegenwart.

Erst die Bedürfnisse der mehr und mehr aufstrebenden Nautik riefen einen Fortschritt zum Besseren hervor. Th. Fischer hat in einer höchst lesenswerthen Studie [20] den Nachweis geführt, dass die Seekarten den Italienern ihren Ursprung verdanken, und dass, wie die Karte des Luxoro zeigt, schon um 1300 n. Chr. die Eintragung der Küstenlinien in ein wirkliches Netz mit grosser Genauigkeit erfolgte. Man nennt diese Abbildungen Kompasskarten, welche nicht ganz treffende Bezeichnung zu mancherlei Missverständnissen führte; Breusing hat diese letzteren aufgeklärt und den Charakter dieses Kartentypus vollkommen klargestellt [21]. Das einer Kompasskarte nachträglich zu unterlegende Gradnetz ist durchaus nicht etwa, wie man früher wohl annahm, ein cylindrisches, sondern vielmehr ein konisches [22]. Namentlich in Spanien erhielt sich die mit der Erweiterung des geographischen Horizontes immer unverlässlicher werdende Kunst des Segelns nach dem blossen Kompassstrich länger als anderswo, ja selbst im vorigen Jahrhundert bedienten sich die Piloten des mittel-

ländischen Meeres noch ungraduirter Karten. Die Portugiesen waren, wie wir besonders aus einer von Gelcich citirten Schrift des Hernan Colon ersehen [23], ihren östlichen Nachbarn schon im Laufe des XVI. Jahrhunderts bedeutend vorausgekommen.

Die ersten selbstständigen Kartographen der Neuzeit waren die Deutschen Stabius und Werner und der Lothringer Walther Lud, ihnen schlossen sich Oronce Finée, Sebastian Münster, Postellus, die beiden Apian und Andere an. Breusing hält es für wahrscheinlich [24], dass Seitens der Nautiker dann wieder auf die Plattkartenprojektion des Marinus zurückgegriffen wurde, als sich Prinz Heinrich der Seefahrer von der Nothwendigkeit steter Breitenbestimmungen überzeugt hatte. Man begann, die ptolemäische Kartensammlung wieder neu aufzulegen; bis 1500 waren schon sechs neue Auflagen derselben erschienen [25]. Breusing ist in der Lage, nicht weniger als 61 Kartenzeichner deutscher Abstammung namhaft zu machen, die alle vor 1575 lebten [26]. Eine förmliche Revolution brachte Gerhard Mercator hervor, der namentlich in Holland Schule-bildend wirkte [27]; die Namen Hondius, Ortelius, Janssonius können diess bezeugen. Später ragt Homann unter den Verfertigern von Karten und Atlanten hervor [28]; seine Werke behaupteten sich so lange, bis neuerdings wieder jener Umschwung eintrat, dessen Signatur die Verbindung einer hoch entwickelten Technik mit geometrischer Strenge bildet. Die Sitte, der Karte einen Maassstab zur Abschätzung von Distanzen beizugeben, rührt nach Steinhauser [29] von Peter Descelliers (1553) her *).

Neuere Mathematiker haben sich vielfach damit beschäftigt, ganz allgemein die Grundsätze zu fixiren, denen eine gute Karte entsprechen soll, und zugleich die Grösse der — wie wir oben sahen, unvermeidlichen — Fehler zu bestimmen, welche bei jeder Projektionsart sich einstellen. In seiner uns bereits bekannten Abhandlung erörtert Wiechel sorgfältig alle einschlägigen Umstände; es ist, abgesehen von besonderen Zwecken, darauf zu halten, dass die Mitte der Karte völlig fehlerlos abgebildet sei, dass die geographischen Koordinaten nach einheitlichem Maassstabe abgegriffen werden können, dass endlich der Kartenmittelpunkt womöglich auch Berührungspunkt der Kugel mit der das Bild enthaltenden Tangentialebene werde. Wiechel bringt die wichtigeren Eigenschaften eines guten Kartenbildes mit dem Gewichte 2, die minder wichtigen mit dem Gewichte 1 in Anschlag und sieht sich so in der Lage, die Vorzüge der verschiedenen Me-

*) Es wäre eine historische Ungerechtigkeit, gänzlich von chinesischer Kartographie zu schweigen, über welche wir Himly [30] interessante Aufschlüsse verdanken. Eine „Karte des Reiches" entstand bereits um 1311—1320 n. Chr. unter der Aegide des Mongolenkaisers Wu-Tsung. Dieselbe wurde während der Regierung der Ming-Dynastie umgeändert und 1799 neu herausgegeben. Die Projektion ist roh, aber doch vorhanden; jede Provinz ward in ein Rechteck von ungleichen Seiten hineingezwängt, die aber doch jeweils Distanzen von 100 li entsprechen sollen; der Maassstab der Karte ist also nicht der gleiche, wenn man von West nach Ost oder von Süd nach Nord fortschreitet. Auch giebt es alte Karten für den Seeverkehr nebst Segelanweisungen, die auf den chinesischen Kompass Bedacht nehmen und stets vorschreiben, wie viel Striche — im Chinesischen heisst es „Buchstaben" — zu nehmen sind, wenn ein bestimmtes Ziel erreicht werden soll.

thoden tabellarisch gegen einander abwägen zu können. Insbesondere kommen in Frage die Principien der Konformität und der Aequivalenz; bei ersterer wird gefordert, dass Original und Kopie einander in den kleinsten Theilen ähnlich sein sollen, bei letzterer, dass zwei gleichgrosse Flächentheile der Kugel auch wieder durch gleiche ebene Flächenstücke wiedergegeben werden. Den Kartenfehler, den als mathematischen Begriff zuerst H. Weber [31] der Diskussion unterstellt hat, definirt Eisenlohr [32] in folgender Weise. Man lege durch alle Punkte der Karte, für welche der Maassstab der nämliche ist, die isometrischen Kurven; jene kürzesten Linien, welche auf diesen senkrecht standen, verwandeln sich in Gerade. Sie erleiden gar keine Verzerrung, wohl aber unterliegen solcher alle übrigen, und am meisten werden betroffen die den isometrischen Linien parallel verlaufenden. Dieser Verzerrungsgrad kann sonach als ein passendes Maass für den Kartenfehler gelten; ist derselbe für einen beliebig kleinen Theil der Karte bekannt, so wird ein Ausdruck für die Grösse des Gesammtfehlers nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate hergeleitet. Die Karte erscheint dann mit dem geringsten Kartenfehler behaftet, wenn der Begrenzungslinie selbst der Charakter der Isometrie eignet.

Ein in theoretischer Hinsicht wichtiges Lehrbuch der Kartenprojektionslehre ist dasjenige von Tissot [33], welches grundsätzlich nur von dem einen Lehrsatze Gebrauch macht, dass einem Systeme orthogonaler Kurvenschaaren der einen Fläche im Allgemeinen nur ein einziges ebensolches System auf der anderen Fläche entspricht. Ein alle bekannten Abbildungsweisen in ihrem gegenseitigen Verhältniss charakterisirendes Handbuch hat der Italiener Fiorini [34] geschrieben. In deutscher Sprache behandeln unseren Gegenstand Möllinger [35], Steinhauser [36], Coordes [37] und Wenz [38], ersterer mehr an ein mathematisches, letztere an das grössere Publikum sich wendend. Als ein in mehrfacher Beziehung bahnbrechendes Werk kann dasjenige von Zöppritz [39] betrachtet werden, durch welches der Kredit, in welchem bisher manche der üblichen Konstruktionsweisen steht, bedenklich erschüttert wird.

§. 2. **Die gebräuchlichen Projektionsmethoden.** In diesem Paragraphen sollen die wichtigeren unter den gegenwärtig in der praktischen Kartographie verwendeten Abbildungsweisen kurz beschrieben werden. Absolute Vollständigkeit wird nicht angestrebt; wer tiefer gehen will, nehme eines der oben citirten Lehrbücher oder das für den vorliegenden Fall ebenfalls sehr werthvolle Kompendium von Gretschel [40] zur Hand. Naturgemäss werden wir den Zwecken der physikalischen Geographie bei unserer Uebersicht besonders Rechnung tragen.

a) **Orthographische Projektion.** Ein in unendlicher Entfernung befindliches Auge betrachtet die Erdkugel, von welcher es somit gerade die Hälfte sieht. Jene Gegenden, die in der Nähe des Punktes liegen, in welchem eine vom Centrum nach dem Augpunkte gezogene Gerade die Kugelfläche schneidet, werden sehr genau, die um 90° von jenem Punkte abstehenden Theile höchst ungenau abgebildet. Man bedient sich deshalb dieser Projektion nicht eben gerne, nur für solche Him-

melskörper, wie den Mond, die sich von selbst uns orthographisch darstellen, empfiehlt sich dieselbe. Die den Uebergang vom Original zum Bild und umgekehrt vermittelnden Formeln hat Thoulet hergeleitet [41].

b) **Stereographische Projektion.** Hier befindet sich das Auge in der Kugelfläche selber, während zur Bildebene entweder die im Antipodenpunkt des Augpunktes an die Kugel gelegte Berührungsebene oder irgend eine andere ihr parallele Ebene genommen wird. Man unterscheidet für gewöhnlich eine stereographische Polar- und Aequatorialprojektion, je nachdem nämlich der Augpunkt in einen der Erdpole oder aber in den Umfang des Gleichers fällt. Indessen können sich auch andere Lagen als momentan vortheilhaft erweisen, wie denn z. B. der englische Oberst James mittelst der nach ihm benannten Abart der stereographischen Projektion eine Weltkarte herzustellen vermochte, welche sämmtliche Erdtheile, das einzige Australien ausgenommen, umfasste [42]. Was unserer Projektion zum entschiedenen Vortheil gereicht, ist der Umstand, dass sie beliebig grosse Theile der Kugelfläche*) zu verzeichnen gestattet; hierauf sich stützend konstruirten im Alterthum und Mittelalter die Verfertiger von Planisphären (Analemmen) und Astrolabien gewöhnlich stereographische Bilder [43]. Allerdings wächst mit dieser Ausdehnung auch der Randfehler; einer von Schumann [44] angegebenen Formel gemäss erscheinen die äussersten Randstücke viermal so gross, als die centralen Partieen. Zwei schöne geometrische Eigenschaften zeichnen die stereographische Projektion aus: Jeder Kreis der Kugel transformirt sich wieder in einen Kreis, und je zwei Kurven des Originales durchschneiden sich unter dem nämlichen Winkel, unter welchem sich auch ihre Bildkurven durchschneiden. Wegen einlässlicherer theoretischer Begründung dieser und anderer Sätze vergleiche man die Werke von v. Bauernfeind [45] und Reusch [46]. Steinhauser bemerkt, dass die stereographische Projektion auch zur Darstellung der Land- und Wasserhälfte unserer Erde sehr geeignet sei [47]; der Augpunkt erhält dann eine Lage in 50° geogr. Breite.

c) **Gnomonische Projektion.** Verlegt man das betrachtende Auge in den Mittelpunkt der Kugel und bildet deren Oberfläche auf einer beliebigen Tangentialebene ab, so hat man die centrale oder gnomonische Projektion, welche nach D'Avezac's Meinung (s. o.) [48] vielleicht schon Thales kannte und anwendete. Nähere Nachweisungen sowohl über die Geschichte dieser Projektion, als auch über deren mathematischen Charakter finden sich in einer Abhandlung des Verfassers [49]. Die erste selbstständige Schrift darüber hat den Jesuiten Borgondio zum Autor und stammt aus dem Anfange des vorigen Jahrhunderts [50]. Später schritt man dazu, der Kugel einen regulären

*) Völlig unerreichbar ist nur der dem Standpunkt des Zeichners diametral gegenüberliegende Punkt. Diese Thatsache ist von principieller mathematischer Bedeutung. Die vulgäre Anschauung vindicirt ebenso, wie die sogenannte nichteuklidische Geometrie, der geraden Linie zwei unendlich entfernte Punkte; in der euklidischen Geometrie rücken beide zu einem einzigen uneigentlichen Punkt zusammen. Nach den Anschauungen der modernen Funktionentheorie, welche die Ebene nur als stereographisches Bild der Kugel auffasst, besitzt auch die Ebene nur Einen unzugänglichen Punkt.

Körper umzubeschreiben und auf dessen Seitenflächen je einen aliquoten Theil der Kugelfläche zu übertragen; so wählte Reichard (1803) das Hexaeder, Élie de Beaumont (1863) das Dodekaeder [51]. Letzterer suchte dabei gewissen geologischen Anschauungen Boden zu verschaffen, welche er sich über das die Erde angeblich überdeckende pentagonale Gebirgsnetz gebildet hatte, und aus einem ganz ähnlichen Grunde tritt neuerdings Beguyer de Chancourtois für die gnomonische Projektion ein; er will ausser dieser nur noch die stereographische zur Darstellung einer vollen Halbkugel zulassen. Auch für ihn ist die Ansicht maassgebend, dass Gebirgsketten auf einen längs eines Hauptkreises klaffenden Sprung der Erdrinde hindeuten, und verhielte sich dieses wirklich so, dann würde allerdings die vorliegende Abbildungsmanier eine sehr hohe orographische Bedeutung erlangen. Wir theilen freilich diese Meinung nicht, geben aber gerne zu, dass unter dem rein geometrischen Gesichtspunkte Chancourtois' Abbildung der Erdoberfläche auf den acht Flächen eines regelmässigen Oktaeders sehr schöne Bilder liefert [52]. Am meisten empfiehlt der Genannte die stete Verbindung „de trois séries de cartes imbriquées", so besonders der dodekaedrischen, ikosaedrischen und triakontaedrischen Projektion [53]. Wer sich über die Ziele der von Chancourtois beabsichtigten Reform unterrichten will, muss seine dem geologischen Kongress zu Bologna unterbreiteten Mittheilungen nachsehen; dort hebt jener die Wichtigkeit des Studiums „des faits d'alignement" besonders hervor und erwähnt u. a. als eines in vulkanistischer Beziehung sehr bemerkenswerthen Umstandes, ein einziger Blick auf eine in seinem Sinne hergestellte Karte belehre darüber, dass eine durch den Vesuvkrater und durch die Insel Santorin gezogene Gerade der Axenrichtung der Pyrenäen parallel verlaufe [54]. Ein hübsches gnomonisches Kärtchen der Südpolargegenden giebt Krümmel [55], um die Unrichtigkeit gewisser Eintheilungen der dortigen Meeresräume durch diese hier besonders passende centrale Abbildung der grössten Kreise zu widerlegen. — In neuerer Zeit beginnen die Seefahrer das Segeln auf dem Hauptkreise, als auf der kürzesten Verbindungslinie zweier Erdorte, sehr zu bevorzugen und bedürfen hiezu der sogenannten orthodromischen Seekarten. Hilleret [56] und Rayet [57] gaben Vorschriften zur Anfertigung solcher Karten; wir werden sofort von einer ganz anderen Seite her auf dieselben zurückzukommen haben.

d) **Mercator'sche Projektion.** Um die Mitte des XVI. Säculums stellten sich die Unvollkommenheiten der gewöhnlichen Kompasskarten (s. o. §. 1) so deutlich heraus, dass die Nautiker die Nothwendigkeit einer Verbesserung nicht mehr verkennen konnten. Gerhard Mercator (1512—1594) versprach in einem denkwürdigen Schreiben, welches er am 23. Februar 1546 an den Kardinal Granvella richtete, und dessen Uebersetzung Breusing in seine bekannte Lebensbeschreibung des grossen Kosmographen aufgenommen hat [58], er werde eine Anzahl von seemännischen Nothständen seiner Zahl näher prüfen und ihnen Abhülfe schaffen, und er hat Wort gehalten. Anno 1569 ward von ihm der Stich seiner grossen nautischen Weltkarte vollendet [59]. Die Meridiane werden in der nach Mercator benannten Projektion durch aequidistante Gerade, die Parallelkreise ebenfalls durch Gerade und zwar durch solche dargestellt, die auf der erstgenannten

Schaar senkrecht stehen. Dagegen ist jetzt die Gleichabständigkeit der Parallelen in Wegfall gekommen; der Abstand zweier solcher Linien wächst proportional der trigonometrischen Sekante der geographischen Breite, und da $\sec 90^0 = \frac{1}{0} = \infty$ ist, so liegt Nord- wie Südpol in unendlicher Entfernung *). Generalkarten der Erde können sonach im Sinne Mercator's sehr gut erstellt werden, sobald man sich begnügt, nur die niedrigen Breiten gut, die höheren dagegen sehr weit auseinandergezogen zu erhalten. Die Abbildung ist übrigens, wovon ihr Begründer natürlich noch keine Ahnung haben konnte, eine konforme. Was ihren besonderen Werth für den Schiffer anlangt, so ist Folgendes zu berücksichtigen. Segelt ein Schiff unaufhörlich nach dem nämlichen Kompassstriche, so bewegt es sich auf einer doppelt gekrümmten sphärischen Kurve, welche sämmtliche Meridiane unter konstantem Winkel durchschneidet und den Pol zum asymptotischen Punkt hat; sie erreicht denselben also niemals, legt sich vielmehr in unzähligen Windungen enger und enger um denselben herum. Nennt man α diesen Schnittwinkel, σ einen Bogen der Loxodrome — diesen Namen führt die Kurve gewöhnlich —, λ, β und B die Länge, Breite und vergrösserte Breite des Anfangspunktes von σ, so gelten die folgenden Relationen:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos \beta \, d\lambda}{d\beta}, \quad \cos \alpha = \frac{d\beta}{d\sigma},$$

$$B = \int_0^\beta \frac{d\beta}{\cos \beta} = \log \operatorname{tg}\left(45^0 + \frac{1}{2}\beta\right) = \log \frac{1 + \sin \beta}{\cos \beta}$$

$$= -\log \frac{\cos \beta}{1 + \sin \beta} = \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta}.$$

Mit Hülfe dieser Formeln lässt sich, wie zumal sehr hübsch in einer Schrift v. Friesach's [61] dargethan ist, eine elementare Theorie der loxodromischen Figuren begründen **). Natürlich aber wäre für den Praktiker damit wenig gewonnen. Nun bringt es aber Mercator's Projektionsverfahren ganz von selbst mit sich, dass sich die Loxodrome in eine gerade Linie verwandelt; es ergiebt sich diess einfach aus dem geometrischen Satze über die Wechselwinkel an Parallelen. Jetzt ist also wirklich erreicht, was von den Verfertigern der mittelalterlichen

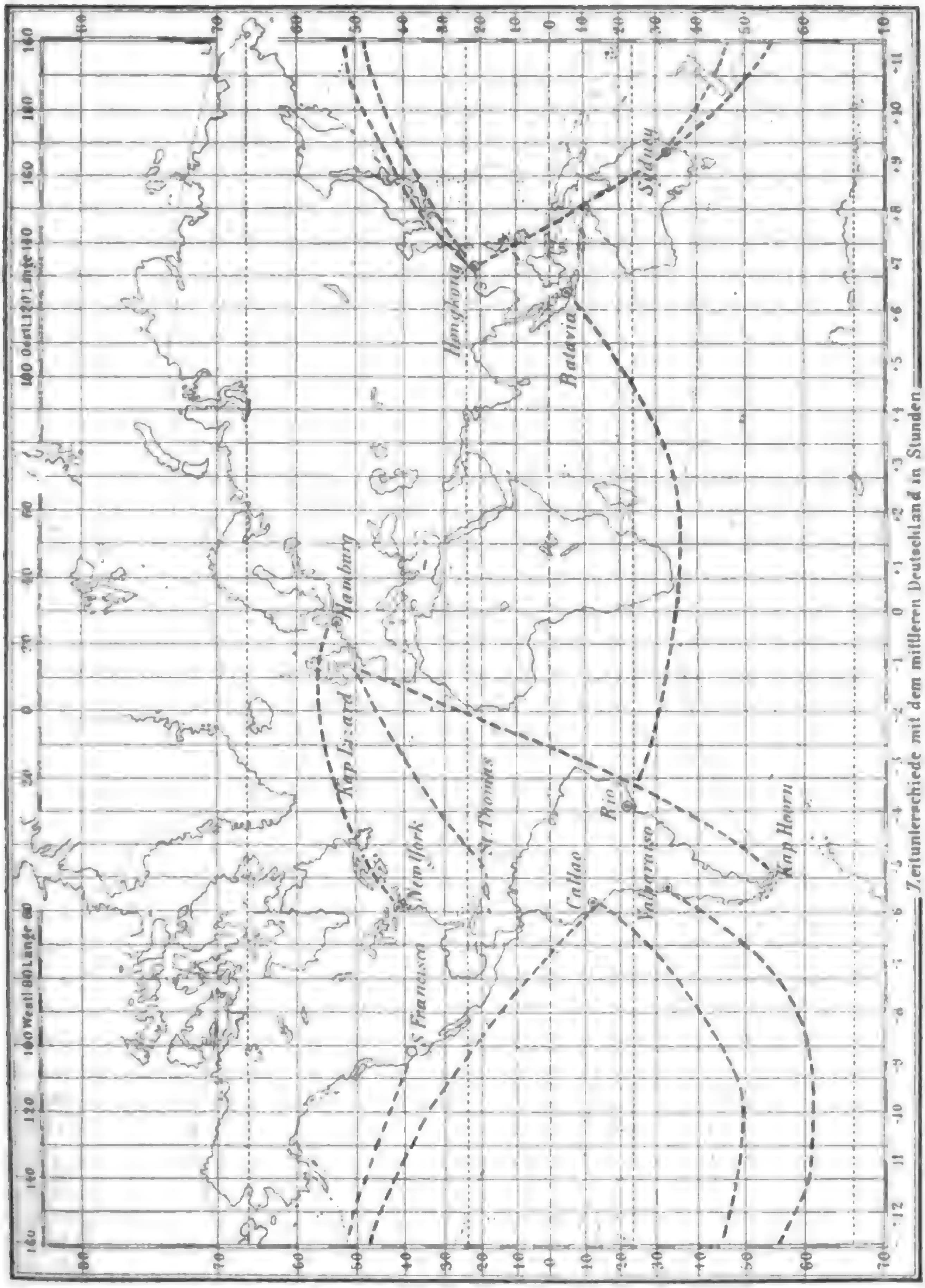
---

*) Man hüte sich, diese in gewissem Sinne allerdings als cylindrisch zu bezeichnende Projektion mit der gewöhnlichen cylindrischen oder Pattkarten-Projektion zu verwechseln, welch' letztere, wie erwähnt, von Marinus eingeführt und sogar von D. Cassini unter einem anderen Namen empfohlen wurde [60]. Auch die perspektivische Methode, welche vom Kugelcentrum aus jeden Punkt auf den Mantel eines umbeschriebenen Cylinders verlegt und diesen Mantel nachher in eine Ebene aufrollen lässt, eine Methode also, welche gewissermassen eine Erweiterung der gnomonischen Abbildung repräsentirt, ist keineswegs mit jener Mercator's identisch, obschon auch bei ihr die Pole unendlich weit hinausrücken. Eine geometrische Betrachtung zeigt, dass der Abstand zweier den Breiten β_1 und β_2 entsprechenden Parallelkreise in diesem Falle durch Const. $\times$ (tang β_2 — tang β_1) ausgedrückt wird, und da ja auch tang $90^0 = \infty$ wird, so ist das Schlussergebniss allerdings ein ganz analoges.

**) Eine ausführliche „Geschichte der loxodromischen Kurve" ist vom Verf. schon früher veröffentlicht worden [62].

Kompasskarten auf einem unrichtigen Wege angestrebt wurde; die Distanzmessung auf der See lässt sich ohne Fehler durch blosse An-

Fig. 53.



wendung von Lineal und Cirkel bewerkstelligen. — So lange die Schifffahrt eine rein loxodromische war, befriedigten die „Seekarten mit wachsenden Breiten", wie man sich wohl auch ausdrückte, jedes

Bedürfniss. Nachdem aber, wie erwähnt, die vervollkommneten Mittel der Neuzeit das Segeln nach der kürzesten Distanz wieder wünschenswerth und möglich erscheinen liessen, musste es darauf ankommen, die üblichen Mercator'schen Seekarten hiefür zu adaptiren, sei es, dass man, wie diess v. Friesach [63] und Gelcich [64] thaten, Tabellen berechnete, sei es, dass man mit Albini [65] und Asmus [66] graphische Mittel zur Eintragung grösster Kreise in die Mercator-Karten an die Hand gab. Fig. 53, die nach der schönen Karte der Seewege von Schück [67] gearbeitet ist, stellt uns neun kürzeste Linien (zwischen Hongkong und Sydney, Sydney und Callao, Sydney und Valparaiso, Hongkong und Callao, Hongkong und San Francisco, Rio de Janeiro und Batavia, Kap Hoorn und Kap Lizard, St. Thomas und Kap Lizard, New-York und Hamburg) vor Augen. Man ersieht hieraus sehr deutlich, dass ein Hauptkreisbogen um so weniger von einer Geraden abweicht, je mehr sich seine Richtung der meridionalen nähert, während ein Bogen, der zwei auf demselben Parallel gelegene Orte verbindet, die stärkste Krümmung aufweist.

e) **Konische Projektionen.** Der allgemeine Gedanke, welcher dieser Manier zu Grunde liegt, ist der, dass der abzubildenden Kugelzone, die natürlich auch bis zur ganzen Kugel anwachsen kann, ein Kegelmantel umbeschrieben wird, den man alsdann abwickelt. Ptolemäus hat zuerst diesen Gedanken realisirt, auch Mercator ist auf ihn zurückgekommen [68]; Delisle und Murdoch haben lediglich Mercator's Idee etwas weiter ausgebildet. Für den Fall, dass eine grössere Genauigkeit angestrebt wird, vermehrt man die Zahl der abgestumpften Kegel, welche sich um das abzubildende Stück der Kugelfläche herumlegen, und erhält so die polykonische Projektion, welche von Hilgard [69] bei der nordamerikanischen Küstenvermessung angewandt wurde; auch für die neuen österreichischen Provinzialkarten war nach Frischauf [70] ein ähnliches System maassgebend. Eine Abart, nämlich die uns bereits bekannte cylindrische Projektion, erhält man, wenn man den umschliessenden Kegel in einen Kreiscylinder degeneriren lässt. Soll die konische Abbildung sich auf die ganze Erde erstrecken, so gelangt man, wie Steinhauser [71] zeigt, zu den sternförmigen Projektionen.

f) **Halbsternprojektionen.** An sich würde es ja allerdings möglich sein, die Mantelfläche des Bildkegels bis zum Südpole verlängert zu denken, und Lambert's isosphärische Kegelprojektion, Braun's stereographische Kegelprojektion beruhen z. B. auf einer solchen Anordnung. Dem Princip der Aehnlichkeit zwischen Original und Kopie wird jedoch dadurch nur schlecht gedient. Man nimmt also lieber dem Südpol (eventuell dem Nordpol) seine Punkt-Eigenschaft, rollt die Südhälfte der Erdkugel in Streifen auf und sucht diese Streifen, die natürlich keinen weiteren Zusammenhang mehr haben, so zu legen, dass in jeden derselben ein ungetheilter Erdtheil zu liegen kommt. „Es giebt," sagt Steinhauser [72], „drei solche Projektionen, die von Müller (1807), einer Kreuzblüthe mit vier Blättern vergleichbar, die sternförmige Projektion von Jäger, resp. Petermann mit acht und die gleichartige von Herm. Berghaus mit fünf strahlenartigen Ansätzen." Ferner ist noch zu erwähnen die von Arnd erdachte und von Gerster [73] beschriebene Halbsternprojektion, welche auch bei Dar-

stellung der nördlichen Hemisphäre darin die übliche konische Abbildung ändert, dass bei ihr der Mantel des Bildkegels die Erdkugel nicht berührt, sondern in zwei geeignet zu wählenden Parallelkreisen durchschneidet. Steinhauser hat an jener Methode das auszusetzen [74], dass die bessere Darstellung der Mittelmeerländer, des inneren Hochasiens und der Union auf Kosten einer unverhältnissmässigen Verbreiterung der Aequatorialgegenden erkauft werde, und bringt deshalb, ohne den ursprünglichen Plan preiszugeben, Abänderungen in Vorschlag.

g) **Bonne's Projektion.** Bei der gewöhnlichen Kegelprojektion werden die Meridiane konvergirende gerade Linien, die Parallelen koncentrische Kreise. Dadurch werden jedoch letztere von ersteren nicht mehr in dem richtigen Verhältnisse getheilt. Stellt man letzteres her, so hören die Meridiane auf, geradlinig zu sein, sie werden gekrümmt und bilden auch nicht mehr, wie früher, durchgängig rechte Winkel mit den Parallelkreisen. Dieser Nachtheile unerachtet ward bisher diese Projektion des Franzosen Bonne vielfach benützt, und auch Steinhauser [75] glaubt derselben für die Darstellung selbst grösserer Erdräume nicht entrathen zu können.

h) **Zenitale Projektionen.** Postellus ist [76] der Erfinder dieses Verfahrens, das darauf ausgeht, alle Punkte der Kugel, die von dem als Kartenmitte angenommenen Punkte gleichweit entfernt sind, auch wirklich auf dem Umfange eines Kreises zu vereinigen. Man hat verbesserte Methoden dieser Art von Lorgna, Lambert und Airy („Balance of errors") [77]; das Vorzüglichste leistet aber zweifellos die neuerdings in der uns bereits bekannten Arbeit von Wiechel angegebene Zenitalprojektion [78].

i) **Globularprojektionen.** Dieser Name ist jüngst auf eine ziemlich rohe Konstruktionsmanier des Loriti aus Glarus (Glareanus) angewandt worden [79], obwohl die Bezeichnung selbst erst von dem Engländer Arrowsmith herrührt. Später ward dann Nell [80] bei der Erwägung des Umstandes, dass gleiche Abschnitte von Meridianen und Parallelkreisen durch die meisten Projektionen in sehr ungleiche Stücke umgewandelt zu werden pflegen, zu dem nachstehend formulirten Probleme geführt: „Es sollen in einem Kreise zwei Systeme von Linien so gezeichnet werden, dass alle Kurven des einen Systemes von jeder Kurve des anderen in proportionale Theile zerlegt werden. Es findet dabei noch die Bedingung statt, dass alle Linien des einen Systemes (Meridiane) durch zwei bestimmte, einander gerade gegenüberliegende Punkte des Kreisumfanges gehen sollen." Da unter dieser Voraussetzung schwer konstruirbare transscendente Linien sich ergeben würden, so hat Debes [81] die Meridiane annähernd durch Kreise ersetzt und damit erst die ganze Methode für die kartographische Praxis verwerthbar gestaltet. Eine von ihm für Supan's „physische Erdkunde" gezeichnete schöne Uebersichtskarte der Tiefenverhältnisse im Weltmeere besitzt ein nach der Globularprojektion gefertigtes Netz.

k) **Aequivalente Projektionen.** Eine herzförmige Abbildung der ganzen Erde, welche bereits zu Anfang des XVI. Jahrhunderts der Nürnberger Astronom J. Werner in Aufnahme zu bringen versuchte, besitzt bereits die ihrem Autor freilich verborgen gebliebene Eigenschaft, das Flächenraum-Verhältniss der sphärischen Figuren unverändert

zu lassen [82]. Weitaus die zweckdienlichste unter den zahlreich vorhandenen äquivalenten Projektionsmethoden ist aber die homalographische, 1805 von Mollweide erfunden, 1857 von Babinet durch dieses Kunstwort bezeichnet [83]. Namentlich die homalographische Polarprojektion zeichnet sich durch ihre Einfachheit aus, die äquatoriale ist verwickelter, weil bei ihr sämmtliche Mittagskreise zu Ellipsen werden. Neuerdings hat Coatpont [84] mittelst eines ganz einfachen geometrischen Transformationsprocesses aus jeder stereographischen Abbildung eines Theiles der Erde eine äquivalente herzuleiten gelehrt.

l) **Apian's Projektion.** Dieselbe ist nicht sowohl wissenschaftlich, wohl aber historisch sehr beachtenswerth, zu ihrer Zeit war sie sehr beliebt, und u. a. ist auch der von dem Genueser Agnese für Kaiser Karl V. gezeichnete Portulan*) ihr entsprechend gehalten, welchem Wieser [85] eine eigene Monographie gewidmet hat. Eigentlich gab Peter Apian zwei etwas verschiedene Methoden an, deren eine jedoch auf seine eigenen Werke beschränkt blieb. „Beide haben“ — nach Breusing [86] — „gemein, dass der mittlere Meridian und der Aequator durch zwei sich rechtwinklig schneidende gerade Linien dargestellt werden. In der einen ist der mittlere Meridian in 18 Theile getheilt, und durch die Theilpunkte sind gerade Linien als Breitenparallele gelegt. Der Aequator ist in 36 Theile, also ebenfalls in Theile zu 10°, getheilt, die aber gegen die Breitegrade um ⅓ verkürzt sind, um die Figur nicht zu sehr auszudehnen, und durch diese Theilpunkte und die Pole sind dann Meridiane gelegt.“ Die Erde präsentirt sich in Folge dieser Darstellungsweise, die allerdings viel Willkürlichkeit verräth, in Form eines plattgedrückten Herzens.

m) **August's epicykloidische Projektion.** Die Epicykloide ist eine transscendente Kurve; sie wird von irgend einem Punkte eines Kreises beschrieben, der auf der konvexen Seite eines anderen Kreises rollt. Eine Kurve dieser Art schickt sich nun, wie F. August fand [87], trefflich als Randkurve für eine die ganze Erde in sich aufnehmende Karte. Die Projektion selbst ist konform; die Erdpole fallen in die Spitzen der Epicykloide. Beachtenswerth erscheint, dass die Karte zwar den in §. 1 skizzirten strengen Forderungen Eisenlohr's nicht völlig genügt und auch nicht genügen kann, weil sich die Pole in ihr befinden, dass aber für einen weit überwiegenden Theil des Ganzen doch immer der Kartenfehler ein Kleinstes wird.

n) **Die Quincuncialprojektion** Eine Erfindung des Amerikaners Peirce [88]. Mit Hülfe der elliptischen Funktionen wird ein gewöhnliches stereographisches Abbild der Erde so transformirt, dass der Pol in den — wie wir wissen, einzig vorhandenen — unendlich fernen Punkt der Bildebene übergeht. Auf letzterer entstehen unendlich viele Quadrate, deren jedes die ganze Erdoberfläche in sich aufnimmt. Nach Peirce empfiehlt sich sein Verfahren vorzugsweise für meteorologische und magnetische Karten, die Geophysik wäre mithin direkt bei demselben interessirt. Wir lassen diess vorläufig dahingestellt; jedenfalls

---

*) Portulane nannte man im späteren Mittelalter jene Seekarten, auf welchen die Lage der Häfen mit besonderer Genauigkeit angegeben war. Die ihnen meistentheils beigegebenen Beschreibungen leisteten den Kapitänen einen ähnlichen Dienst, wie diess heute die von den Admiralitäten edirten Segelanweisungen (s. o. §. 1) thun.

aber eignet sich nach v. Oppolzer [89] die Quincuncialprojektion sehr gut zur Veranschaulichung des Verlaufes centraler Sonnenfinsternisse.

o) **Die Gauss'sche Projektion.** Gauss war es, der zuerst ganz allgemein die von der dänischen Akademie zur Preisbewerbung ausgeschriebene Aufgabe löste [90]: irgend eine Fläche auf einer anderen Fläche konform abzubilden. Eine spezielle Anwendung hievon bot sich ihm bei Gelegenheit der von ihm selbst geleiteten hannöver'schen Landesvermessung dar; er substituirte dem — als durch Rotation entstanden vorausgesetzten — Erdsphäroid eine Kugel, deren konstantes Krümmungsmaass jenem des Ellipsoides längs eines bestimmten Parallelkreises gleich war, und verwandelte so jedes Problem der sphäroidischen in ein solches der sphärischen Trigonometrie. Die analoge Uebertragung ist unlängst von Craig [91] auch für ein dreiaxiges Ellipsoid durchgeführt worden. —

Wir geben uns der Hoffnung hin, dass diese gedrängte Uebersicht über die Methoden der Landkartenprojektion ihren Zweck erreichen werde: den Leser so zu orientiren, dass, wenn ihm beim Studium irgendwelcher geophysikalischer Schriften irgend ein Projektionsverfahren vorkommt, das Verständniss desselben ihm keine Mühe bereite.

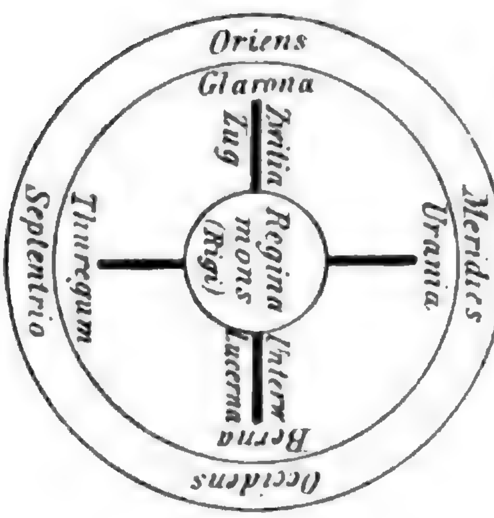
§. 3. **Chorographie und Terrainzeichnung.** Die Chorographie lehrt die graphische Wiedergabe solcher Theile der Erdoberfläche, bei welchen ihrer geringeren Ausdehnung halber von der Berücksichtigung der Erdrundung abgesehen werden darf. Als erstes Erforderniss guter chorographischer Darstellung erscheint die genaue Vermessung des betreffenden Landstriches, und wenn alsdann der Maassstab gegeben ist, nach welchem die gemessenen Längen — die Winkel bleiben selbstverständlich intakt — auf das Papier übertragen werden sollen, so gilt es weiter, dafür zu sorgen, dass die Vertikalunterschiede der einzelnen Partieen sich möglichst ungezwungen dem Beschauer nach Art und Grösse vor Augen stellen. Diess zu leisten, bleibt der Terrainzeichnung vorbehalten.

Offenen Sinn für diese im Alterthum und Mittelalter kaum gepflegte Disciplin bethätigten zuerst die Geographen und Mathematiker des Reformationszeitalters. Eine geradezu mustergültige Mappirungsarbeit sind die von Philipp Apian (dem Jüngeren) hergestellten „bayrischen Landtafeln“, deren Verfertiger die ausgebildetste topographische Kenner- und Künstlerschaft an den Tag legt [92]. Einige Zeit vorher hatte Joachim Rheticus die erste brauchbare Anleitung dazu verfasst, ein Land mittelst Messschnur und Boussole „in Grund zu legen“, ein den Unterschied zwischen den „tabulae geographicae“ und den „tabulae chorographicae“ scharf betonendes und durchführendes Werkchen, durch dessen Herausgabe sich Hipler [93] den Dank aller Geschichtsfreunde erworben hat. Neues Leben kam in diese für den Fortschritt der wissenschaftlichen Landeskunde so wichtigen Bestrebungen, als der Altdorfer Professor Prätorius [94] den zur Terrainaufnahme hervorragend geeigneten Messtisch erfand, mit dessen Hülfe Schickard [95] seine württembergischen „Landtafeln“ zu Stande brachte. Schickard war es auch [96], der das für die Chorographie fundamentale geodätische Problem stellte und löste, welches fälschlich

den Namen Pothenot's trägt, noch früher aber bereits die Aufmerksamkeit des mit seinen Gradmessungsarbeiten beschäftigten Snellius (Kap. I, §. 5) auf sich gezogen hatte. Den deutlichsten Einblick in den allmähligen Fortschritt dieses Theiles chorographischer Arbeit gewinnt man, wenn man die geschichtlichen Forschungen von Ruge [97] nnd von R. Wolf [98] zu Rathe zieht, welche beide mit minutiöser Treue die Entwickelung bezüglich des sächsischen und des schweizerischen Landesvermessungswesens schildern.

Wir erfahren durch Ruge, wie politische Kurzsichtigkeit den Plan des älteren Apian, eine genaue Karte des herzoglichen, wie des kurfürstlichen Sachsens anzufertigen, vereitelte, wie dann aber Kurfürst August die Nothwendigkeit einer guten Landestopographie immer mehr erkannte und verschiedene Versuche nach dieser Richtung hin veranlasste. Was Criginger, Magdeburg und Scultetus, die mehr auf ihre eigenen Mittel angewiesen waren, leisteten, erhob sich wenig über das Niveau der Mittelmässigkeit, dagegen kann das Vermessungswerk des Markscheiders Oeder, der ausser Messkette und Magnetnadel auch noch den Quadranten zu Hülfe nehmen durfte und sich staatlich unterstützt sah, als ein Meisterwerk gelten [99]. Auf 96 Blättern des sächsischen Landesarchives sind die einzelnen Theile Sachsens mit solcher Genauigkeit abgebildet, dass man, wenn man die Generalstabskarte daneben hält, wesentliche Abweichungen nirgends herausfindet *). In mancher Hinsicht noch lehrreicher ist das Wolf'sche Werk, weil in ihm von geodätisch-chorographischen Operationen auf durchschnittenem und vielfach unwegsamem Gebiete die Rede ist. Während der Glarner Tschudi um 1530 noch eine äusserst rohe, dem Typus der mittelalterlichen Radkarten nachgebildete Zeichnung der Urkantone (vgl. Fig. 54) in sein Schweizerwerk aufnahm [100], lieferte Conrad Gyger, ein Züricher Maler, bereits 1667 eine Karte seines Heimathlandes, die nach Wolf [101] für jene Zeit auch die weitest gehenden Anforderungen befriedigen musste. Wir verfolgen dann weiter unter der sicheren Leitung unseres Gewährsmannes die Etappen, welche durch die Namen Scheuchzer, Mallet, Tralles, Horner, Eschmann u. s. w. gekennzeichnet sind, und langen so endlich bei G. H. Dufour [102] an, der, in der trefflichen Schule der napoleonischen Ingenieur-Geographen gebildet, jene allseitig als mustergültig anerkannten Karten des Schweizerlandes schuf.

Fig. 54.



Eine sehr anziehend geschriebene Uebersicht über die Ausbildung der territorialen Kartographie hat Peschel [103] gegeben. Er feiert mit Recht die Verdienste eines Delisle und D'Anville und datirt

*) Herr Prof. Ruge hat diese Vergleichung dadurch sehr erleichtert, dass er von einzelnen Oeder'schen Blättern einen das Original genau wiedergebenden Abzug machen liess. Ein solcher liegt dem Schreiber dieses zur Zeit vor.

von der Cassini'schen Gradmessung für Frankreich eine neue Epoche geographischen Fortschrittes. In vielen Ländern erscheint die Kartenzeichnung und Chorographie freilich nur als ein Anhängsel der Kriegswissenschaft, und nur selten leitet ausschliesslich das wissenschaftliche Interesse. Besonders nennenswerth erscheinen uns in dieser Beziehung die grossartigen Aufnahmen, welche der Graf Marsigli für sein Donau-Werk [104] in Ungarn und Bosnien durch den Nürnberger Ingenieur J. C. Müller [105] bewerkstelligen liess, sowie Peter Anich's Tyrolische Landesvermessung, die ursprünglich fast ein reines Privatunternehmen war und vom Staate erst dann kräftiger unterstützt wurde, als sich ihr grosser Nutzen nicht mehr verkennen liess [106]. Eine werthvolle Ergänzung zum Peschel'schen Werke bietet v. Sydow's inhaltreiche geschichtliche Skizze [107].

Seit fünfzig Jahren etwa ist, indem man den Messtisch durch den Theodoliten ersetzte, die Nivellirinstrumente durch Anbringung der Wasserwage*) verbesserte und auch zur Ausgleichung kleinerer Dreiecksnetze die rationellen Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung verwendete, die niedere Geodäsie — diesen Namen führt der uns zur Zeit beschäftigende Theil der Geographie im Gegensatze zu der die Gradmessungsarbeiten betreibenden höheren Geodäsie — eine ganz neue Wissenschaft geworden. Wir können uns selbstverständlich nicht auf dieses für uns transscendentale Gebiet verlieren, verweisen vielmehr, soweit die ältere Literatur in Frage kommt, lediglich auf die Lehrbücher von Puissant [109] und J. J. v. Littrow [110], während der neueste Stand unseres Wissens und Könnens in dem uns bereits bekannten ausgezeichneten Werke v. Bauernfeind's (§. 2) und das Nivelliren anlangend, in Stampfer's Vorlesungen [111] zum erschöpfenden Ausdruck gelangt. Die Schnellaufnahme oder Tachymetrie wird in jüngster Zeit von verschiedenen Geodäten, wie Porro, Schlesinger, A. Schell u. a., eifrig befürwortet, und wir glauben sie schon aus diesem Grunde, wie auch deswegen nicht unerwähnt lassen zu sollen, weil sie möglicherweise für den reisenden Geographen einige Bedeutung gewinnen könnte, für dessen feldmesserische Bedürfnisse übrigens Kaltbrunner's Rathgeber umfassend Sorge trägt [112]. Ein tachymetrisches Instrument haben Tichy und Starke konstruirt und zur Anwendung empfohlen [113].

Die gleiche Erwägung leitet uns, wenn wir der sogenannten Photogrammetrie auch an dieser Stelle einige Worte widmen. Eine ganz originelle Art, den photographischen Apparat für die Erdphysik auszunützen, ist die von Bessels unter dem Druck der Umstände erdachte [114], die uns in der Lehre von der Gletscherbewegung wieder beschäftigen wird. Stolze theilt mit [115], dass mit Hülfe des von Meydenbauer angegebenen Instrumentes die Konstruktion topo-

---

*) Die Wasserwage ist allerdings älteren Ursprunges; sie ist spätestens im Jahre 1666 und zwar nicht, wie es gewöhnlich heisst, von Thevenot, sondern, nach R. Wolf's Untersuchungen [108], von dem Pariser Mechaniker Chapotot erfunden worden. Seine volle Wirksamkeit war aber der geniale Gedanke, welcher den Erfinder geleitet hatte, erst dann zu entfalten im Stande, als der sogenannte Fehlerkalkul sich auszubilden begann, als man somit in die Lage kam, die Ungenauigkeiten, welche beim Aufsetzen oder Anhängen der Libelle mit unterlaufen müssen, ihrem Werthe nach zu schätzen und dadurch zu eliminiren.

graphischer Karten durch blosse photographische Aufnahmen bewerkstelligt werden könne; es lasse sich mit jenem Apparate ganz ebenso arbeiten, wie früher mit dem Messtische. Stolze fertigte 1875 in Gemeinsamkeit mit Hölzner nach 250 photographischen Platten eine Karte der Ruinen von Persepolis [116]. Von Beautemps-Beaupré und Laussedat [117] stammt der Grundgedanke der Photogrammetrie, den Meydenbauer [118] und Jordan [119] weiter ausgeführt haben. G. Hauck hat einen auf dem geometrischen Principe der trilinearen Verwandtschaft beruhenden Apparat konstruirt, der dazu dient, durch Umfahren des orthogonalen Grund- und Aufrisses irgend eines Gebildes sofort das organisch beschriebene centralperspektivische Bild desselben von einem dritten Schreibstift gezeichnet zu erhalten [120], oder auch aus zwei perspektivischen Aufnahmen unmittelbar den Aufriss herzuleiten [121]. Diese geistreiche Vorrichtung scheint in Verbindung mit der unglaublichen Vervollkommnung der sogenannten Momentanphotographie (durch Obernetter u. A.) der Photogrammetric eine noch bedeutendere Zukunft zu sichern. G. Fritsch behauptet, dass die Gelatine-Emulsions-Photographie wegen der Charaktertreue, welche die nach diesem Verfahren gefertigten Landschaftsbilder bewähren, sich ganz besonders zur Berücksichtigung für Forschungsreisende eigne [122].

§. 4. **Darstellung der Höhenverhältnisse, Isohypsen und Isobathen.** Wir können mit Wolkenhauer [123] in den Bestrebungen, auch der dritten Dimension des Raumes kartographisch gerecht zu werden, fünf Perioden unterscheiden, welche allerdings zeitlich nicht strenge getrennt sind, sondern vielfach in einander übergreifen und auch sachlich gewisse gemeinsame Kennzeichen aufweisen.

a) **Die perspektivische Abbildung.** Den alten Vorschlag Strabon's, die Gebirge graphisch wie die Zähne einer Säge oder eines Kammes darzustellen, einen Vorschlag, den auch sämmtliche ptolemäische Atlanten acceptirten [124], sehen wir seit Anfang des XVI. Jahrhunderts dahin modificirt, dass man von Bergzügen und Einzelbergen eine perspektivische Zeichnung in die Karte aufnimmt. Letztere wird also gewissermassen zum Landschaftsgemälde; zu dem Besten und in rein künstlerischer Beziehung Vollkommensten, was nach diesem naiven Verfahren geschaffen ward, gehören Philipp Apian's Bilder des bayrischen Hochgebirges [125] und Delkeskamp's aus der Vogelperspektive gezeichnete Ansichten der Schweiz und der Rheinufer [126]. Gewöhnliche Kartenzeichner liessen eine derartige Gewissenhaftigkeit natürlich sehr vermissen, und es kam soweit, dass man eine Reihe derartiger „Maulwurfshaufen" einfach als Typus eines Gebirges verwerthete, ohne auf den individuellen Charakter desselben irgend Rücksicht zu nehmen [127]. Aehnlich machen es noch heute die Japaner, wie Knipping [128] berichtet; auch die im Jahre 1795 von einem Sklaven des Königs von Ava gezeichnete Karte, deren Früh (s. u.) erwähnt, befolgt dieses sich eben offenbar ganz ungesucht darbietende Princip. Doch erkennt man bereits bei Apian das Bestreben, den Beleuchtungsverhältnissen Rechnung zu tragen, und damit eine Anbahnung des Ueberganges von der ersten zur zweiten Periode.

b) **Die primitive Schraffirung.** Jemehr man der Vogelperspektive vor der landschaftlichen den Vorzug gab, um so mehr schrumpften die Hügelketten zu dünnen raupenförmigen Gebilden zusammen, die durch Seitenansätze oder Schraffen endlich eine wirkliche Raupengestalt empfiengen. „Die ersten Anfänge hievon“, so heisst es bei Peschel-Leipoldt [129], „gewahrt man schon auf Joh. Bapt. Homann's ‚Provincia Brisgoia‘ vom Jahre 1718: auch La Condamine's Karte von Quito (erschienen im Jahr 1751) und die Karten von Cook's Werken zeigen Schraffen; aber noch in dem Atlas von Malte Brun (Paris 1804) begegnen wir der Hügelform. Erst am Beginne dieses Jahrhunderts hat der Engländer Arrowsmith die dachförmige Schraffirung allgemein eingeführt.“ Schon Gyger und Peyer von Schaffhausen, dessen Karte R. Wolf [130] nachrühmt, es sei in ihr die Terrainzeichnung recht brav behandelt, kennen übrigens die Schraffen, ja sogar in Giuscardini's 1566 erschienener „Beschreibung Niederlands“ (deutsch von Federmann in Basel) sind die in Form gleichschenkliger und stumpfwinkliger Dreiecke zur Darstellung gebrachten Berge mit Schattenstrichen ausgerüstet.

c) **Die französische Methode der schiefen Beleuchtung.** Allmählig begann man sich die Abhänge der Berge schief beleuchtet vorzustellen, indem man annahm, die Sonnenstrahlen sollten ein- für allemal von einer bestimmten Seite her — etwa von Nordwest — und unter einem bestimmten Winkel — am besten von 45° — einfallen. Die so wichtigen Böschungsverhältnisse bleiben bei dieser Auffassung freilich etwas im Dunklen, und so ist die Methode auch, trotz mancher Verbesserungsvorschläge von Chauvin und Ziegler [131], der sofort zu besprechenden Lehmann'schen gegenüber in den Hintergrund getreten, doch beweist Dufour's konsequent im altfranzösischen Geiste bearbeitetes Kartenwerk der Schweiz, was sich auch aus einem an sich nicht eben vollkommenen Verfahren machen lässt; konnte doch Petermann darüber das folgende Urtheil fällen [132]: „Die Dufour'sche Karte in 25 Blättern vereinigt eine genaue Aufnahme mit meisterhafter, naturgemässer Zeichnung und schönem, geschmackvollem Stiche in so ausgezeichneter Weise, in einem so harmonischen Ganzen, und giebt ein so naturwahres Bild der imposanten Alpennatur, dass wir sie unbedingt als die vorzüglichste Karte der Welt ansehen“.

d) **Die Lehmann'sche Manier.** In einer kleinen Schrift [133] von 1799, welcher nach mehr denn einem Decennium das ein ausgereiftes System in sich bergende Hauptwerk [134] nachfolgte, schlug der damalige sächsische Ingenieurlieutenant J. G. Lehmann vor, die schiefe Beleuchtung durch die vertikale zu ersetzen. Jeder Punkt im Terrain ist von seinem Zenit aus beleuchtet, so dass mithin eine Horizontalebene das Maximum des einfallenden Lichtes, eine Vertikalebene aber gar kein Licht empfängt. Erstere wird demnach ganz schwarz, letztere ganz weiss gezeichnet, die zwischenliegenden Flächen werden um so dunkler gezeichnet, je grösser ihr Böschungswinkel, d. h. der Winkel ist, welchen sie selbst in ihrer Verlängerung, resp. ihre Tangentialebene, mit der horizontalen Ebene einschliessen würden. Auf den ursprünglich weissen Grund werden schwarze Striche aufgetragen, und zwar in um so grösserer Anzahl, je steiler die Böschung wird. Nach Lehmann's Theorie, die auch Bach [135] adoptirt, gilt, da

Winkel > 45° in der Natur kaum vorkommen*) und deshalb auch von der Situationszeichnung nicht berücksichtigt zu werden brauchen, folgendes Verhältniss zwischen Schwarz und Weiss:

0°	Böschung.	0	Theile	schwarz.	9	Theile	weiss.
5°	„	1	„	„	8	„	„
10°	„	2	„	„	7	„	„
15°	„	3	„	„	6	„	„
20°	„	4	„	„	5	„	„
25°	„	5	„	„	4	„	„
30°	„	6	„	„	3	„	„
35°	„	7	„	„	2	„	„
40°	„	8	„	„	1	„	„
45°	„	9	„	„	0	„	„

Diese Eintheilung ist jedoch nicht als massgebend zu betrachten; vielmehr haben verschiedene Staaten auch verschiedene Normen: Obermair giebt in seinem auch sonst sehr lesenswerthen Aufsatze [140] eine übersichtliche Darstellung dieser ganz konventionellen Bestimmungen.

Es giebt mancherlei Abänderungen der Lehmann'schen Methode. Die wichtigste derselben ist diejenige v. Müffling's, welche auch als Generalstabsmanier bezeichnet wird [141]. Bei ihr werden schwarze Striche angewendet, die nicht blos durch das Verhältniss ihrer Breite zum angrenzenden weissen Zwischenraum, sondern auch durch besondere Formen die Grösse der Böschung charakterisiren.

Die Anbringung der Lehmann'schen Schraffen geschieht so, dass deren Richtung die Linie des kürzesten Falles, des Wasserablaufes, kennzeichnet. Gehören zu ein und derselben Berghöhe verschiedene Böschungsverhältnisse, so bestimmen Anfang und Ende der nämlichen Strichskala eine um den Berg sich herumziehende krumme Linie, für

*) Kaum über irgend ein anderes geometrisches Verhältniss bei'm Vorkommen in der Natur täuscht sich der Ungeübte so leicht, wie über die Grösse der Neigungswinkel. Durchweg werden dieselben überschätzt, fast nie ereignet sich der gegentheilige Irrthum. Bezeichnet man mit m die Erhebung der Kammlinie eines Gebirges, mit n die Entfernung des Lothfusspunktes vom Fusse der Gebirgskette, so ist $\operatorname{arc\,tg} \frac{m}{n}$, d. h. eben die Gesammtböschung, stets nur ein kleiner Winkel; nach v. Sonklar [136] überschreitet er in den Ostalpen niemals 27°. Selbst das so schroff aussehende Matterhorn weist nur eine Böschung von 50° auf, der steile Abfall der Zugspitze gegen den Eibsee hin (etwa 60°) gehört zu den grössten Seltenheiten [137]. Nach Naumann [138], der Élie de Beaumont folgt, gelten folgende Werthe: Grösste erlaubte Steigung der französischen Chausseen: 2° 52'; Maximalneigung der Simplonstrasse: 5° 43'; Grenze gefahrbringender Neigungen für abwärts fahrende Wagen: 9° 10'; Grenze der von aufwärts sich bewegenden Fuhrwerken noch zu bewältigenden Neigungen: 13°; grösste Neigung, welche ein beladenes Maulthier zu überwinden vermag: 29°; Die Militärschriftsteller treffen nachstehende Festsetzungen [139]: Bei 10° Neigung ist Schuss und Stoss der Infanterie nach aufwärts unwirksam; bei 20° kann Infanterie nicht mehr in geschlossener Ordnung manoeuvriren, Reiter können im Trab noch ganz kurze Strecken nach oben zurücklegen; bei 35° kann sich allenfalls noch der einzelne Tirailleur, jedoch nur mit grossen Schwierigkeiten, bewegen, bei 40° muss er, wenn der Boden mit Gras bewachsen ist oder sonst Anhaltspunkte darbietet, sich seiner Hände bedienen. Böschungswinkel ≥ 45° sind in Ausnahmsfällen und mit künstlichen Hülfsmitteln, wie Steigeisen u. dgl., bezwungen worden.

deren sämmtliche Punkte die absolute Höhe die gleiche ist. Hiedurch gewinnen diese Linien eine erhöhte Bedeutung, denn an und für sich werden durch Lehmann's Methode ja nur relative Höhen angegeben. Nun aber haben wir den Uebergang zu dem vollkommensten Hülfsmittel der modernen Terrainkunde, zu den Niveaukurven.

e) **Die äquidistanten Linien** *). Nach Licka [144] war der französische Ingenieur Millet de Mureau der Erste, der seit 1748 auf Fortifikationsplänen jedem eingezeichneten nivellirten Punkte dessen Höhenzahl oder Cote (Quote) beisetzte. Doch verfiel er noch nicht auf die Idee, alle Punkte von gleicher Cote durch einen Kurvenzug mit einander zu verbinden, auf eine Idee, die schon zwanzig Jahre vorher, wie ebenfalls Licka (a. a. O.) zeigte, von dem Holländer Cruquius bei der Auslothung des Flusses Merwede realisirt worden war. Philippe Buache, welchem Peschel [145] diese Erfindung zuschreibt, muss die Ehre allerdings dem Cruquius abtreten, doch hat er auf seiner Karte des Aermelkanales, von welcher unsere Fig. 55

Fig. 55.



eine fragmentarische Abbildung liefert, immerhin diese Ortskurven gleicher absoluter Meerestiefe, die sogenannten Isobathen, erstmalig mit grösserer Genauigkeit ausgezogen und festgelegt („pour montrer comment se font les jonctions des terres, soient prochaines soient éloignées"). 1771 legte Du Carla von Genf die eigentliche erste Höhenkurvenkarte, allerdings nur diejenige einer imaginären Insel, der Pariser Akademie vor, um zu zeigen, dass man durch Linien gleicher absoluter Meereshöhe, d. h. durch Isohypsen, für das Festland das

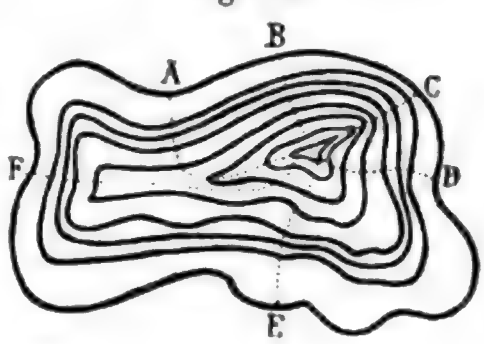
*) Wir machen im Folgenden Gebrauch von den eingehenden historischen Nachweisungen über die Höhenkurven, welche man Früh [142] und Steinhauser [143] verdankt.

Gleiche erreichen könne, was Buache's Isobathen für den Meeresgrund leisteten. Dupain-Triel machte 1791 eine Isohypsenkarte von Frankreich bekannt, und letzteres Land war es auch, dessen Kartographen sich des neuen Verfahrens mit besonderer Energie bemächtigten. 1801 gab Haxo einen Situationsplan des Idro-See's, 1811 Clerc einen solchen des Golfes von Spezia, 1812 Bautraud einen solchen von Corfu, und die Genieschule von Metz nahm die Methode der gleichabständigen Linien seit 1802 in den Rahmen ihrer Pflicht-Lehrgegenstände auf. Die erste Karte, die keine Schraffen — man erinnert sich, dass letztere mit den Terrainkurven durchaus nicht unverträglich sind —, sondern blos die letzteren enthält, ist die dänische vom Jahre 1845; von 1852 stammt eine Darstellung des Züricher See's mit Isobathen. Die Nordamerikaner dagegen begannen schon weit früher, in ihre Hafenpläne genaue Niveaulinien einzutragen, wie die Florida-Karte (1829) beweist [146]. In Oesterreich gieng der Feldzeugmeister v. Hauslab, ein um die Geschichte der Kartographie hochverdienter Forscher, mit gutem Beispiele voran, und heute kann in allen Kulturländern die Anerkennung der Methode als eine vollkommene gelten. Gleichwohl kann sie in völliger Isolirung den hochentwickelten Anforderungen kein Genüge thun, welche der moderne Geograph an seine Kartenbilder zu stellen pflegt, und so hat man auch an ihr vielfach gebessert, ab und zu wohl auch gekünstelt. Steinhauser subsumirt diese mannigfaltigen Versuche unter systematischen Gesichtspunkten, und zwar mit folgenden Worten [147]: „Einfache Horizontallinien vermögen bekanntlich noch weniger ein plastisches Bild der Körper zu gewähren, als es die Drahtgitter vermögen, die man beim Unterrichte in der Krystallographie anwendet. Man hat sonach auf Mittel gedacht, um den Horizontalen (für den Fall der Unthunlichkeit der Ausführung in Schraffen) einen plastischen Ausdruck zu verschaffen. Wir stossen bei der Uebersicht der bisherigen Leistungen auf so vielerlei Versuche, dass eine vorläufige Angabe der verschiedenen Eigenheiten angezeigt erscheint. Wir finden nämlich: A) Uebersichtskarten mit reinen Horizontalen ohne Schraffen, ohne Schummerung und ohne Farbenton, B) solche mit Anwendung von Schraffen oder Schummerung, und solche mit Farbentönen, und zwar mit einer Farbe in verschiedenen Abwechselungen steigend oder fallend oder C) mit mehreren Farben und in diesem Falle entweder D) nach willkürlicher Wahl oder E) nach einer fortwährenden oder F) wiederkehrenden Steigerung, endlich G) Karten mit erhabenen Schichten, sei es durch die Presse oder in anderer Weise. Ferner kann man eine Unterscheidung machen zwischen H) unbestimmten Schichten (mit verwaschenen Grenzen), sozusagen Studienkarten, auf welchen blos die Intensität der Färbung die wachsende Erhebung andeutet, und I) zusammengezogenen Schichten, nämlich solchen, wo mit Vorbedacht charakteristische Merkmale aus angrenzenden Schichten vereinigt wurden, gerade so, wie man bei historischen Karten zuweilen genöthigt ist, Uebergangsveränderungen der Zwischenperioden ersichtlich zu machen, oder wie ein Bauzeichner die Projektionsfläche eines Durchschnitts wechselt, um einen wichtigen Theil, der vor oder hinter das Profil fällt, sichtbar zu machen. Bei strenger Durchführung der Schichten ist noch zu berücksichtigen K) ob alle Schichten gleichweit abstehen, oder L) nur eine Anzahl d[e]r

selben, oder M) ob sie nach einem bestimmten arithmetischen oder geometrischen Verhältnisse an Höhe wachsen." C. Ritter's Bergkarte Europa's und Zeune's in die „Gea" aufgenommene Erdkarte (1830) können höchstens der Klasse H) beigezählt werden, die erste wirkliche Schichtenkarte unseres Kontinentes erschien mit einem Kommentar im Jahre 1833 zu Kopenhagen, besorgt von Olsen und Bredstorff. Diese Methode der Höhenschichten dürfte eine bedeutende Zukunft vor sich haben, zumal wenn Polychromie und Schummerung dabei in geeigneter und vor Allem nicht in aufdringlicher Weise zur Anwendung gelangen. Allerdings ist die Frage der Farbenwahl keine ganz leicht zu lösende, wie sich aus den dahin zielenden Ausführungen bei Peschel-Leipoldt [148] ergiebt. Je höher, desto dunkler bei Landkarten, je tiefer, desto dunkler bei Wasserkarten, dieser von zwei so hervorragenden Kartographen, wie v. Hauslab und v. Sonklar, aufgestellte Grundsatz verdient, allseitig beherzigt zu werden. — In der graphischen Rechenkunst ist statt Isohypsen der Name Isoplethen üblich; wenn $z = f(x, y)$ die Gleichung einer Fläche ist, so kann man dadurch, dass man dem z successive alle möglichen Spezialwerthe ertheilt, ein deutliches Bild der Fläche, resp. der ihr entsprechenden Funktion erhalten [149]. — Eine gute Uebersicht über den momentanen Stand der exakten Kartenzeichnung gewähren Spezialarbeiten von Ziegler [150] und Becker [151]. Heinr. v. Littrow verbreitet sich [152] in ansprechender Weise über das Verhalten, welches man bei der Abbildung submariner Gegenden mittelst Isobathen zu beobachten habe*).

Gleich hier ergreifen wir die Gelegenheit, uns über einen Begriff auszusprechen, der für die gesammte Geophysik von fundamentaler Tragweite ist. In Fig. 56 sehen wir eine Schaar von Isohypsen (resp. Isobathen) dargestellt; die Linien bei A, B, C, D, E, F stehen gleichzeitig auf sämmtlichen Kurven senkrecht. Zu jedem System geometrischer Kurven existirt nämlich ein zweites System sogenannter orthogonaler Trajektorien, und je ein Individuum dieses letzteren schneidet je ein Individuum des ersteren unter rechten Winkeln. Da nun, wo von den gestrichelten Linien zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Niveaulinien ein relativ grosses Stück enthalten ist, kann die Steigung offenbar nur eine langsame, allmählige sein, während dort, wo die Terrainkurven sich zusammendrängen, die grösste Steilheit statthaben wird, in unserer Figur also bei C. Man kann also, um einen bestimmten Ausdruck zur Beurtheilung des Grades der Steilheit zu haben, so definiren: Das Gefälle ist umgekehrt proportional dem Stück der orthogonalen Durchschnittskurve,

Fig. 56.



*) Man hat die allzugrosse Buntheit solcher Schichtenkarten gerügt. Es ist deshalb vielleicht nicht überflüssig, auf das von Cayley [153] aus einer tiefgehenden philosophisch-geometrischen Untersuchung abstrahirte Ergebniss hinzuweisen, nach welchem bei noch so verschlungenen Grenzlinien einer Karte gleichzeitig vier Farben als ausreichend zur vollständigen Bezeichnung aller dieser Grenzen erkannt wurden.

welches zwischen zwei benachbarten Isohypsen enthalten ist. Dieser Terminus Gefälle wird theilweise auch von der mathematischen Physik benützt; gewöhnlich aber dient zur Bezeichnung analoger Grössen das Wort Gradient, und zwar spricht man, je nachdem an die Stelle der Isohypsenschaar ein System von Linien gleicher Wärme oder gleichen Luftdruckes getreten ist, von einem thermometrischen oder barometrischen Gradienten, und es kommt dann nur noch darauf an, die Eine Willkürlichkeit, welche in der Proportionalität gelegen ist, durch eine zweckmässige, den Bedingungen des speziellen Falles angepasste Zusatzbestimmung hinwegzuschaffen. —

Ein Terrainbild wird durch einen beigesetzten Höhenquerschnitt ungemein verdeutlicht. Buache lieferte als Ergänzung zu seiner uns bereits bekannten Seekarte [154] ein Längenprofil des Kanal-Grundes und Pasumot ein ebensolches für die Kordilleren, Pyrenäen und Alpen [155]. 1791 erschien Dupain-Triel's Länderprofil: „La France, considérée dans les différentes hauteurs de ses plaines.“ Sehr viel Gewicht legte A. v. Humboldt auf solche Darstellungen und zugleich darauf, dass ihm die Priorität, dergleichen zuerst in grösserem Maassstabe ausgeführt zu haben, gewahrt bleibe. Indem er Frémont's Kartirung der westlichen Unionsländer lobend bespricht, sagt er u. a. [156]: „Da ich glaube, der Erste gewesen zu sein, der es unternommen hat, die Gestaltung ganzer Länder (die iberische Halbinsel, das Hochland von Mexiko und die Kordilleren von Südamerika) in geognostischen Profilen darzustellen (die halb-perspektivischen Projektionen eines sibirischen Reisenden, des Abbé Chappe, waren auf blosse und meist sehr alberne Schätzungen von Flussgefällen gegründet), so ist es mir eine besondere Freude, die graphische Methode, welche die Erdgestaltung in senkrechter Richtung, die Erhebung des Starren über dem Flüssigen darstellt, auf die grossartigste Weise angewandt zu sehen.“

§. 5. **Flächenmessung.** Es dürfte hier der Ort sein, Einiges einzuschalten über ein Geschäft, dessen Ausübung dem Kartographen nicht selten zu schaffen macht, und welches auch bei physikalisch-geographischen Forschungen oft genug sich aufdrängt; wir erinnern nur an Rigaud's messende Vergleichung des festen und flüssigen Elementes auf der Erdoberfläche [157]. Wir meinen die mechanische Planimetrie, die Bestimmung des Flächeninhaltes unregelmässig begrenzter Figuren.

a) **Arithmetisches Mittel.** Man beziehe die Figur auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem und stelle sie dar als algebraische Summe von gemischtlinigen Trapezen, dessen parallele Seiten Ordinaten sind, während eine dritte Seite durch ein Stück der Abscissenaxe, eine vierte durch einen wie immer gestalteten Kurvenbogen dargestellt ist. Es kommt also nur noch auf den Flächeninhalt eines solchen Trapezes an. Zieht man, die beiden parallelen Seiten mit eingerechnet, n gleichabständige Ordinaten und bezeichnet mit a das Stück der X-Axe zwischen den Grenzordinaten, so ist der gesuchte Inhalt mit um so grösserer Annäherung gleich a mal dem arithmetischen Mittel aus den n Ordinaten, je grösser n ist. Uebrigens sind Rikatscheff [158] und Graf Wilczek [159] unabhängig von einander darauf gekommen,

dass man weit genauer rechnet, wenn man der üblichen Formel

$$\text{Arithm. Mittel} = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + y_3 + \ldots + y_{n-1} + y_n)$$

den anscheinend paradoxen Ausdruck

$$\text{Arithm. Mittel} = \frac{1}{n}\left(\frac{y_1}{2} + y_2 + y_3 + \ldots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2}\right)$$

substituirt.

b) **Simpson'sche Regel.** Rationeller ist die von Simpson [160] gegebene Vorschrift, welche die zwischen den einzelnen Ordinaten gelegenen Kurvenstücke, statt mit geraden Linien, mit den sich ihnen weit besser anschmiegenden Bogen einer Parabel vertauscht, wenigstens soweit blos paare Ordinaten in Frage kommen. Welcher Art also etwa der Bogen zwischen y_6 und y_7 sei, bleibt unerörtert, der Bogen zwischen y_6 und y_8 dagegen gilt seiner ganzen Ausdehnung nach als parabolisch. Da nun einem von Archimedes ausgehenden Satze zufolge jedes Parabelstück leicht quadrirt werden kann, so ist, unter n eine gerade Zahl verstanden, der Flächeninhalt des obigen Trapezes gleich

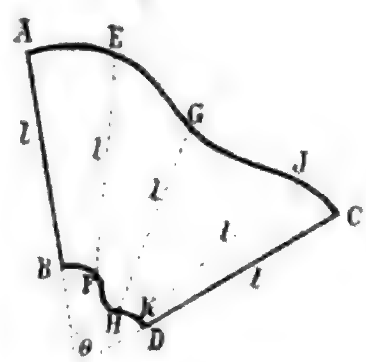
$$\frac{a}{3n}\left[y_1 - y_n + 2 \cdot \sum_{h=1}^{h=\frac{1}{2}n} (y_{2h} + y_{2h-1})\right].$$

Eine möglichst einfache rechnerische Deduktion dieser Formel giebt R. Wolf [161]. Verfeinerte Methoden dieser Art besitzt man von Cotes, Stirling und ganz besonders von Gauss; doch ist es nicht wahrscheinlich, dass diese mechanische Quadratur direkt geophysikalischen Zwecken förderlich werden könnte. Eine gute Spezialschrift ist diejenige Mansion's „Sur l'évaluation des aires planes“ (Gent 1882).

c) **Methode der Wägung.** Man wiegt das herausgeschnittene Flächenstück auf einer feinen Wage ab und thut ein Gleiches mit der Flächeneinheit. Das Gewichtsverhältniss ist dann auch das gesuchte. Auf diesem überaus mühsamen Wege ist Rigaud (s. o.) vorgegangen, auch erscheint es nicht unwahrscheinlich, dass in ähnlicher Weise Archimedes manche überraschende Thatsache ermittelt hat, um sie nachher erst strenge zu erweisen.

d) **Instrumentale Messung.** Das Princip dieser vielgestaltigen Methode scheint uns Purvis durch die nachfolgende Betrachtung [162] am Besten verdeutlicht zu haben. Ein geradliniger Stab AB = l (Fig. 57) gelange nach und nach in die Lagen EF, GH, JK, CD, so dass er schliesslich das gemischtlinige Viereck ABDC überstrichen hat. Bezeichnet man mit f dessen Inhalt, mit n die Länge des Weges, welchen der Mittelpunkt des Stabes während der Bewegung senkrecht gegen die Anfangsrichtung zurückgelegt hat, so ist f = ln. Wird senkrecht zum Stabe ein von dessen beiden Enden gleichweit entferntes Rad angebracht, so messen dessen Umdrehungen den Weg n. Ist dagegen das Rad nicht am Stabe selbst, sondern, bei sonst gleicher Richtung, um

Fig. 57.



m Längeneinheiten vom Mittelpunkt entfernt angebracht, so ist die Grösse der Raddrehung = n − mΘ, wo Θ den von AB und CD

gebildeten Winkel bezeichnet. Nun führe man den Stab aus der End- in die Anfangsstellung zurück, während die Enden vertauscht sind, dann ist, wenn n_1 die entsprechende Bedeutung hat, der Inhalt ln_1; eventuell ist wieder der Weg $= n_1 - m\Theta$. Der Gesammtweg eines Peripheriepunktes ist in jedem Falle $= n - m\Theta - (n_1 - m\Theta) = n - n_1$, und damit ist für den Inhalt der vom oberen Ende des Stabes allein beschriebenen Figur der Werth $l(n - n_1)$ gefunden. Das Amsler'sche Planimeter, dessen sich die Geographen, seiner Bequemlichkeit halber, gerne bedienen, bildet insoferne einen speziellen Fall, als sein unteres Stabende gezwungen ist, einen Kreisbogen zu beschreiben. Favaro's verdienstvolle Arbeit [163] belehrt uns über die mannigfachen Fortschritte, welche von Oppikofer, Wetli und J. M. Hermann an bis zu Amsler und Reitz diese als Planimeter oder Integratoren bezeichneten Instrumente gemacht haben. Für die Theorie derselben sind namentlich die Schriften von Trunk [164] und E. Fischer [165] zu beachten; principiell auf derselben Basis beruhen viele der selbstregistrirenden Instrumente, besonders die Indikatoren für das Ebbe- und Fluth-Phänomen.

§. 6. **Anderweite Darstellungen der Erdoberfläche oder ihrer einzelnen Theile.** Es ward bis jetzt als selbstverständlich betrachtet, dass die Nachbildung der Erde oder einzelner Erdpartieen auf dem Zeichnungspapier zu erfolgen habe. Doch giebt es auch andere Erdbilder, welche zum Theile für die physische Erdkunde einiges Interesse besitzen und daher kurz besprochen zu werden verdienen.

a) **Reliefbilder.** Dieselben sind namentlich zur Darstellung von Gebirgsgegenden von jeher gerne angewendet worden und geben gewiss die Möglichkeit zu einer leichteren Orientirung, obwohl sie nur selten dem Fehler entgehen, die Höhendimension im Verhältniss zu den beiden Plandimensionen ungebührlich zu bevorzugen*). Das Beste in diesem Genre hat aus naheliegenden Gründen von je die Schweiz geliefert. Pfyffer in Luzern arbeitete 10 Jahre lang an seinem berühmt gewordenen Relief der den Vierwaldstättersee umgebenden Bergzüge [166]; ebenso bearbeitete Eugen Müller aus Unterwalden die ganze Innerschweiz [167]. Ja die Meyer-Weiss'sche Generalkarte der Schweiz, die erste, welche dieses Namens wirklich würdig war, gieng gewissermassen aus einer Relief-Arbeit hervor [168], denn J. R. Meyer hatte sich, ehe er an jenes Werk gieng, zuvor die Mühe gegeben, die gesammte Alpenkette von Mayenfeld in Graubündten bis Villeneuve am Rhonefluss in erhabener Arbeit herzustellen. Nähere Nachrichten darüber gab er in einer besonderen Schrift [169]. Bei Peschel-Leipoldt [170] finden die von Winkler in München angefertigten Reliefs lobende Erwähnung.

b) **Globen.** Zur Verfertigung von Erdgloben setzt man das Kugelnetz aus möglichst vielen, schmalen Kreiszweiecken zusammen, welche mit möglichst geringer Dehnung oder Faltung beim Aufziehen

---

*) Je kleiner der modellirte Landstrich ist, um so besser fällt natürlich das Relief aus. So befindet sich in Oberstdorf im Allgäu ein Zinkguss-Modell des die Illerquellen umschliessenden Hochgebirges, welches die charakteristischen Gipfel und Thaleinschnitte mit musterhafter Treue zum Ausdruck bringt.

in Kugelzweiecke übergehen. Im vierten Buche seiner berühmten populären Geometrie [171] lehrt Albrecht Dürer fünfzehn Segmente zu diesem Zwecke anzufertigen („die Spera, wenn man sie durch ihre Mittagslinien zerschneidet, und in ein Planum legt, so gewinnt sie die Gestalt eines Kamms"). Lowitz wollte achtzehn Segmente genommen haben, für gewöhnlich aber liess man es bei zwölf derselben bewenden, entsprechend den zwölf Zeichen des Zodiakus [172]. Sehr gründlich beschreibt die bei Anfertigung eines Globus nöthig werdenden Manipulationen Steinhauser [173]. Neuerdings bedient man sich beim Unterrichte vielfach der Reliefgloben, die für die Erde also etwa das leisten, was die in Kap. III, §. 9 der ersten Abtheilung erwähnten Mond-Modelle von Dickert, W. Witte u. s. w. für unseren Satelliten zu leisten beabsichtigen.

c) **Panoramen.** Betrachtet man den Gesichtskreis als Direktrix eines geraden Cylinders und bildet aus dem eigenen Standpunkte jeden in der Nähe des Horizontes befindlichen Punkt auf dem Mantel dieses Cylinders ab, so erhält man ein Panorama. Das erste Rundgemälde dieser Art scheint der Hauptmann Micheli du Crest verfertigt zu haben, als er, der in die bekannte Henzi-Verschwörung zu Bern verwickelt war, die Aarburger Citadelle beziehen musste [174]. Er bestimmte durch geometrisches Nivellement und barometrische Messung die Seehöhe seines Observatoriums, visirte dann die entfernten Gipfel des Berner Oberlandes an, mass ihre Höhenwinkel mit Rücksicht auf die Depression des Horizontes (Kap. I, §. 4), für welche er Picard's Tafeln zu benützen in der Lage war, entnahm die Distanzen aus der Scheuchzer'schen Karte und brachte so, indem er noch die Horizontalwinkel mittelst eines Azimutalquadranten bestimmte, 1755 das erste Alpenpanorama zu Stande*). Sehr schöne Rundsichten der Schweizer Gebirge zeichnete später der uns bereits bekannte E. Müller [175]. Die noch immer ausstehende theoretische Begründung des Panoramenzeichnens ist erst vor Kurzem durch Frischauf [176] gegeben worden, der zur Erleichterung der Rechnung Tabellen konstruirte und auch auf die entstellenden Einflüsse der terrestrischen Refraktion Rücksicht nahm. Die sich mehr und mehr vervielfachenden Entwürfe zu Gebirgsrundsichten, welche in den Zeitschriften der Alpenvereine mitgetheilt werden, scheinen zu beweisen, dass der von Frischauf, dem als Mathematiker und Alpenkenner gleich gut berufenen Forscher, ausgestreute Same auf fruchtbaren Boden gefallen ist.

[1] Wiechel, Rationelle Gradnetzprojektion, Civilingenieur, 1879. S. 420 ff. — [2] D'Avezac, Coup d'oeil historique sur la projection des cartes de géographie, Bull. de la soc. de géogr. de Paris, 1863. I. S. 257 ff. S. 438 ff. — [3] Breusing, Leitfaden durch das Wiegenalter der Kartographie bis zum Jahre 1600 mit besonderer Berücksichtigung Deutschlands, Frankfurt a. M. 1883. — [4] Günther,

*) Micheli du Crest schildert sein Werk (a. a. O.) mit folgenden Worten: „Prospect géométrique des montagnes neigées, dittes Gletscher, telles qu'on les découvre, en temps favorable, depuis le château d'Aarbourg dans les territoires des Grisons, du canton d'Ury, et de l'Oberland du canton Berne." Seine geographische Bildung dürfte hiernach seiner mathematischen nicht gleichgekommen sein.

Die Kartenprojektionslehre im Verlaufe des letzten Jahrzehntes, Wagner's geogr. Jahrbuch, 9. Band. S. 407 ff. — [5] Le Monnier, Zur Geschichte der Kartographie. Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 21. Jahrgang. S. 391 ff. S. 437 ff. — [6] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Carl Ritter und Alexander v. Humboldt, München 1877. S. 50. — [7] Berger, Die geographischen Fragmente des Eratosthenes, Leipzig 1880. S. 142 ff. — [8] Ibid. S. 169 ff. — [9] Breusing, Leitfaden etc. S. 1 ff. — [10] Günther, Die Kosmographie des Heinrich Schreiber von Erfurt, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Band. S. 60. — [11] Marinelli, Die Erdkunde der Kirchenväter, deutsch von L. Neumann, Leipzig 1883. S. 68 ff — [12] Tomaschek, Zur historischen Topographie von Persien, 1. Theil, Wien 1883. — [13] Philippi, Zur Rekonstruktion der Weltkarte des Agrippa, Marburg 1880. — [14] Marinelli, Die Erdkunde etc. S. 74. — [15] Ibid. S. 62 ff. — [16] Einhardi vita Karoli magni, ed. Pertz, Hannoverae 1863. S. 33 ff. — [17] Peschel-Ruge, Geschichte etc. S. 101. — [18] Ibid. S. 145 ff. — [19] Dewulf, Note sur un manuscrit de Djellal-Ed-din-es-Siouti, Bull. de la soc. de géogr. de Paris, 1875. I. S. 449 ff. — [20] Th. Fischer, Die italienischen Seekarten und Kartographen des Mittelalters, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 17. Jahrgang. S. 1 ff. — [21] Breusing, Zur Geschichte der Kartographie, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Band. S. 129 ff. S. 180 ff. — [22] Ibid. S. 187. — [23] Gelcich, Ein Beitrag zur Geschichte der Seekarten, ibid. 4. Band. S. 28 ff. — [24] Breusing, Leitfaden etc. S. 3. — [25] Ibid. S. 5. — [26] Ibid. S. 14 ff. — [27] Ruge, Ueber einige niederländische Kartographen, Ausland, 1881. S. 21 ff. — [28] Unser Homann, ibid. 1879. S. 373 ff. — [29] Steinhauser, Die Weltkarte des Peter Descelliers, Mittheil. d. k. k. geogr. Gesellsch. zu Wien, 1875. S. 587 ff. — [30] Himly, Ueber zwei chinesische Kartenwerke, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 14. Band. S. 181 ff. — [31] H. Weber, Ueber ein Princip der Abbildung der Theile einer krummen Fläche auf einer Ebene, Journal f. d. reine u. angew. Mathem., 67. Band. S. 229 ff. — [32] Eisenlohr, Ueber Kartenprojektion, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 10. Band. S. 305 ff. — [33] Tissot, Mémoire sur la représentation des surfaces et les projections des cartes géographiques, Paris 1881. — [34] Fiorini, Le projezioni delle carte geografiche, Bologna 1881. — [35] Möllinger, Lehrbuch der wichtigsten Kartenprojektionen, Zürich 1882. — [36] Steinhauser, Elemente der mathematischen Geographie und Kartenprojektion, Wien 1880. — [37] Coordes, Kleines Lehrbuch der Landkartenprojektion, Cassel 1881. — [38] Wenz, Die mathematische Geographie in Verbindung mit der Landkartenprojektion, München und Leipzig 1883. — [39] Zöppritz, Leitfaden der Kartenentwurfslehre, Leipzig 1884. — [40] Gretschel, Lehrbuch der Kartenprojektion, Weimar 1873. — [41] Thoulet, Mémoire sur les projections orthographiques, Bull. de la soc. de géogr. de Paris, 1875. S. 468 ff. — [42] Steinhauser, Math. Geogr. etc. S. 101. — [43] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 162 ff. — [44] Schumann, Ueber eine elementare Bestimmung der Verzerrung bei der stereographischen Polarprojektion, Zeitschr. f. math. und naturw. Unterricht, 12. Band. S. 163 ff. — [45] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, ein Lehrbuch der technischen Geometrie, Stuttgart 1879. S. 497 ff, — [46] Reusch, Die stereographische Projektion, Leipzig 1881. — [47] Steinhauser, Math. Geogr. etc. S. 101. — [48] D'Avezac, Un coup d'oeil etc. S. 465 ff. — [49] Günther, Die gnomonische Kartenprojektion, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 18. Band. S. 137 ff. — [50] Borgondio, Mapparum constructio in planis sphaeram tangentibus, Romae 1718. — [51] Gretschel, Lehrbuch etc. S. 47 ff. — [52] Chancourtois, Carte du globe en projection gnomonique avec le réseau pentagonal superposé, Bull. de la soc. de géogr. de Paris, 1874. II. S. 291 ff. — [53] Chancourtois, Programme d'un système de géographie, ibid. 1874. II. S. 240 ff. — [54] Congrès géologique international, Compte rendu de la 2me session, Bologne 1882. S. 477. — [55] Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879. S. 17. — [56] Hilleret, Nouveau système de cartes marines pour la navigation de grand cercle, Compt. rend. de l'acad. de France, tome LXXXII. S. 1995 ff. — [57] Rayet, Note sur quelques propriétés géométriques du canevas des cartes orthodromiques équatoriales, Mém. de la soc. de Bordeaux, (2) tome II. S. 135 ff. — [58] Breusing, Gerhard Kremer, genannt Mercator, der deutsche Geograph, Duisburg 1869. S. 13 ff. — [59] Ibid. S. 28. — [60] Günther, Die Kartenprojektionslehre etc. S. 416. — [61] v. Friesach, Ueber die Loxodromie und loxodromische Figuren, Graz 1874. — [62] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 333 ff. — [63] v. Friesach, Beschreibung einer Tabelle zur Erleichterung der Schifffahrt im grössten Kreise,

Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Math.-naturw. Kl., 53. Band, II. Abtheilung, S. 258 ff. — [64] Gelcich, Eine neue Tabelle zur Erleichterung der Schifffahrt im grössten Kreise, beziehungsweise zur Einzeichnung eines grössten Kreises in Mercator's Projektion, Zeitschr. f. d. Realschulwesen, 8. Jahrgang. S. 14 ff. — [65] Albini, Metodo grafico per risolvere un triangulo sferico sulla projezione di Mercator, Rivista Maritima, X. S. 425 ff. — [66] Asmus, Darstellung eines grössten Kreises in Mercator-Projektion, Ann. d. Hydr. u. marit. Meteor., 1879. S. 151 ff. — [67] Schück, Die Wege des Oceans für Segelschiffe, Hamburg 1875. — [68] Steinhauser, Math. Geogr. etc. S. 127. — [69] Hilgard, Note on the polyconic projection, The Analyst. III. S. 117 ff. — [70] Frischauf, Die Spezialkarte der österreichisch-ungarischen Monarchie im Maasse von 1 : 75000, Jahrb. d. österr. Tour.-Cl., 12. Jahrgang. S. 1 ff. — [71] Steinhauser, Ueber Kegelprojektionen der ganzen Erdoberfläche, Zeitschr. f. d. Realschulwesen, 8. Jahrgang. 4. Heft. — [72] Steinhauser, Math. Geogr. etc. S. 116. — [73] Gerster, Dr. Arnd's Halbsternprojektion, Zeitschr. f. Schulgeogr., 3. Jahrgang. S. 128 ff. — [74] Steinhauser, Ueber die Anwendung der Kegelprojektion, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 4. Band. S. 34 ff. — [75] Steinhauser, Math. Geogr. S. 128 ff. — [76] Postellus, Cosmographicae disciplinae compendium, Basileae 1561. — [77] Gretschel, Lehrbuch etc. S. 240 ff. — [78] Günther, Die Kartenprojektionslehre etc. S. 430. — [79] Breusing, Leitfaden etc. S. 11. — [80] Nell, Vorschlag zu einer neuen Kartenprojektion, Heidelberg 1852. — [81] Debes, Dr. Nell's modificirte Globularprojektion, Leipzig 1883. — [82] Günther, Studien etc. S. 299 ff. — [83] Steinhauser, Math. Geogr. etc. S. 110. — [84] Coatpont, Propriétés et construction d'une carte des deux continents en projection azimuthale équivalente, Bull. de la soc. de géogr. de Paris, 1877. I. S. 151 ff. — [85] Wieser, Der Portulan des Infanten Philipp II. von Spanien, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. zu Wien, Phil.-hist. Kl., LXXXII. S. 541 ff. — [86] Breusing, Leitfaden etc. S. 10. — [87] F. August, Ueber eine konforme Abbildung der Erde nach der epicykloidischen Projektion, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 9. Band. S. 1 ff. — [88] Peirce, A quincuncial projection of the sphere, Amer. Journal of mathem., Vol. II. S. 394 ff. — [89] v. Oppolzer, Syzygientafeln für den Mond, Leipzig 1881. S. 21 ff. — [90] Gauss, Allgemeine Auflösung der Aufgabe, die Theile einer gegebenen Fläche so abzubilden, dass die Abbildung dem Abgebildeten in den kleinsten Theilen ähnlich wird, Altona 1835. — [91] Craig, Projection conforme de l'ellipsoide sur la sphère, Amer. Journal of mathem., Vol. III. S. 114 ff. — [92] Günther, Peter und Philipp Apian, zwei deutsche Mathematiker und Kartographen, Prag 1882. S. 119 ff. — [93] Hipler, Die Chorographie des Joachim Rheticus; aus dem Autographon des Verfassers mit einer Einleitung herausgegeben, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 21. Band, hist.-lit. Abtheilung, S. 125 ff. — [94] Doppelmayr, Historische Nachricht von den Nürnbergischen Mathematicis und Künstlern, Nürnberg 1730. S. 86. — [95] Schickard, Kurze Anleitung, wie künstliche Landtafeln aus rechtem Grund zu verfertigen, Tübingen 1669. — [96] J. J. Hoffmann, Das Pothenot'sche Problem und seine Auflösung, Aschaffenburg 1825. S. 7. — [97] Ruge, Geschichte der sächsischen Kartographie im XVI. Jahrhundert, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Band. S. 89 ff. S. 143 ff. S. 223 ff. — [98] R. Wolf, Geschichte der Vermessungen in der Schweiz, als historische Einleitung zu den Arbeiten der schweizerischen geodätischen Commission, Zürich 1879. — [99] Ruge, Gesch. etc. S. 231. — [100] R. Wolf, Gesch. d. Verm. etc. S. 7. — [101] Ibid. S. 29 ff. — [102] Ibid. S. 243 ff. — [103] Peschel-Ruge, Gesch. etc. S. 668 ff. — [104] Comte de Marsigli, Danubius Pannonicus-Mysicus, observationibus geographicis, astronomicis, hydrographicis, historicis, physicis perlustratus, Hagae Comitum 1726. — [105] Doppelmayr, hist. Nachr. etc. S. 138 ff. — [106] Mazegger, Peter Anich und Blasius Hueber und deren Karte von Tyrol, Zeitschr. d. d. u. östr. Alpenver., 12. Band. S. 164 ff. — [107] v. Sydow, Die Kartographie in Europa bis zum Jahre 1857, Petermann's geogr. Mittheil., 1857. S. 73 ff. — [108] R. Wolf, Matériaux divers pour l'histoire des mathématiques, Bullett. di bibliogr. e di storia delle scienze mat. e fis., tomo II. S. 313 ff. — [109] Puissant, Traité de topographie, d'arpentage et de nivellement, Paris 1807; Supplém. 1810. — [110] J. J. v. Littrow, Chorographie, Wien 1833. — [111] Stampfer, Theoretische und praktische Anleitung zum Nivelliren, 7. Aufl., bes. von Herr, Wien 1872. — [112] Kaltbrunner, Der Beobachter; allgemeine Anleitung zu Beobachtungen über Land und Leute für Touristen, Exkursionisten und Forschungsreisende, deutsch von Kollbrunner, Zürich 1882. S. 21 ff. — [113] A. Schell, Die Terrain-Aufnahme mit der tachymetrischen Kippregel von Tichy und Starke, Wien 1881. — [114] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879.

S. 399. — [115] Stolze, Ueber den photographischen Theodoliten von Meydenbauer, Verh. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 6. Band. S. 243. — [116] Stolze, Persepolis, Bericht über seine Aufnahmen achämenidischer und sâsânidischer Denkmäler in Fârs, ibid. 10. Band. S. 251 ff. — [117] Girard, Laussedat's Arbeiten in Bezug auf die Anwendung der Photographie zur Aufnahme von Plänen, Photogr. Archiv, 6. Band. S. 316 ff. — [118] Meydenbauer, Ueber Anwendung der Photographie zur Architektur- und Terrain-Aufnahme, Zeitschr. f. Bauwesen, 17. Jahrgang. S. 61 ff. — [119] Jordan, Ueber die Verwerthung der Photographie zu geometrischen Aufnahmen (Photogrammetrie), Zeitschr. f. Vermessungswesen, 5. Band. S. 1 ff. — [120] G. Hauck, Neue Construktionen der Perspektive und Photogrammetrie, Journal f. d. reine u. angew. Mathem., 95. Band. S. 7 ff. — [121] Ibid. S. 23 ff. — [122] G. Fritsch, Die Anwendbarkeit der modernen Photographie auf Reisen, Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 10. Band. S. 277 ff. — [123] Wolkenhauer, Die kartographische Darstellung der senkrechten Gliederung der Erdoberfläche, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 3. Jahrgang. S. 1 ff. — [124] Ibid. S. 3. — [125] Günther, Peter und Philipp Apian etc. S. 122. — [126] Wolkenhauer, Die kartogr. Darstell. etc. S. 4. — [127] Simony, Das Landschaftsbild als illustrirendes Element für eine wissenschaftliche Alpenkunde. Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 11. Band. S. 103. — [128] Knipping, Ueber eine neue Karte von Japan und ihre Quellen, Mittheil. d. deutschen Gesellsch. f. Natur- u. Völkerk. Ostasiens. 11. Heft. S. 23. — [129] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1875. S. 561. — [130] R. Wolf, Gesch. d. Verm. etc. S. 36. — [131] Wolkenhauer, Die kart. Darst. etc. S. 5. — [132] R. Wolf, Gesch. d. Verm. etc. S. 280. — [133] J. G. Lehmann, Darstellung einer neuen Theorie zur Bezeichnung der schiefen Flächen, Leipzig 1799. — [134] J. G. Lehmann, Die Lehre vom Situationszeichnen oder Anweisung zum richtigen Erkennen und genauen Abbilden der Erdoberfläche in topographischen Karten und Situationsplänen, Dresden 1812—16. — [135] Bach, Die Theorie der Bergzeichnung in Verbindung mit Geognosie, Stuttgart 1853. S. 9. — [136] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, Wien 1873. S. 85. — [137] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 1. Band. S. 568 ff. — [138] Naumann, Lehrbuch der Geognosie, 1. Band, Leipzig 1858. S. 311. — [139] Buschbeck- v. Helldorf, Feld-Taschenbuch für Offiziere aller Waffen der deutschen Armee, 1. Theil, Berlin 1874. S. 505. — [140] Obermair, Ueber Kartenlesen und Kartenbeurtheilung, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 12. Band. S. 144 ff. — [141] Buschbeck- v. Helldorf, Feld-Taschenb. etc. 1. Theil. S. 767. — [142] Früh, Zur Geschichte der Terraindarstellung, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Band. S. 156 ff. S. 214 ff. — [143] Steinhauser, Beiträge zur Geschichte der Entstehung und Ausbildung der Niveaukarten, sowohl See- als Landkarten, Wien 1857. — [144] Lička, Zur Geschichte der Isohypsen, Zeitschr. f. Vermessungswesen, 9. Band. S. 40 ff. — [145] Peschel-Ruge, Gesch. d. Erdk. S. 703. — [146] Map of the Territory of Florida connected with the Delta of Missisippi, 1829. — [147] Steinhauser, Beitr. etc. S. 12 ff. — [148] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk.. 1. Band. S. 568 ff. — [149] v. Ott, Das graphische Rechnen und die graphische Statik, 1. Theil, Prag 1879. S. 163 ff. — [150] Ziegler, Ueber Topographie und topographische Karten, Vierteljahrsschrift d. naturf. Gesellsch. zu Zürich, 18. Jahrgang. S. 297 ff. — [151] Becker, Die Kartographie in der Weltausstellung, Mittheil. d. k. k. geogr. Gesellsch. zu Wien, 1874. S. 385 ff. — [152] Enr. di Littrow, Sulle carte idrografiche e sulla rappresentazione del fondo del mare mediante linee isobate od in plastica, Rivista Maritima, XII. S. 191 ff. — [153] Cayley, On the colouring of maps, Proceed. of the r. geogr. society, 1879. S. 289 ff. — [154] Wolkenhauer, Zur Geschichte der Tiefenmessungen, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 1. Jahrgang. S. 592. — [155] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 1. Band. S. 567. — [156] A. v. Humboldt, Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen, Stuttgart und Augsburg 1859. S. 59. — [157] Rigaud, On the relative quantities of land and water on the surface of the terraqueous globe, Transact. of the Cambr. phil. society, Vol. VI. S. 289 ff. — [158] Rikatscheff, Ueber die tägliche Aenderung der Temperatur in St. Petersburg, Wild's Repertorium f. Meteorol., 3. Band. S. 166 ff. — [159] Graf Wilczek, Ueber die Berechnung des arithmetischen Mittels, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Meteor., 10. Band. S. 213 ff. — [160] Simpson, Mathematical dissertations on physical and analytical subjects, London 1743. — [161] R. Wolf, Handbuch der Mathematik, Physik, Geodasie und Astronomie, 1. Band, Zürich 1869. S. 201 ff. — [162] Purvis, On Amsler's Planimeter, Phil. Mag., (4) Vol. XLVIII. S. 11 ff. — [163] Favaro, Geschichte der mechanischen Planimetrie, Wien 1873. — [164] Trunk, Die Planimeter, deren Theorie, Praxis und Geschichte, Halle 1865.

— [165] E. Fischer, Die mechanische Planimetrie, ihre geschichtliche, theoretische und praktische Bedeutung, Zürich 1868. — [166] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 2. Band, Zürich 1859. S. 234 ff. — [167] Ibid. S. 235. — [168] Ibid. S. 242. — [169] J. R. Meyer, Beschreibung eines neu verfertigten Reliefs, welches eine der interessanten Schweizerlandschaften nach der Natur darstellt, Aarau 1803. — [170] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 1. Band. S. 571. — [171] Albr. Dürer, Underweysung der messung mit dem zirckel und richtscheyt, Nürnberg 1525. — [172] Kästner, Geschichte der Mathematik, 1. Band, Göttingen 1796. S. 689. — [173] Steinhauser, Math. Geogr. etc. S. 131 ff. — [174] R. Wolf, Biogr. etc., 1. Band, Zürich 1858. S. 256 ff. — [175] R. Wolf, Gesch. d. Verm. etc., S. 138 ff. — [176] Frischauf, Das Zeichnen und Bestimmen von Panoramen, Neue deutsche Alpenzeitung, IV. Nr. 23; Die Sannthaler Alpen, Graz 1877. S. 269 ff.

Dritte Abtheilung.

Geophysik im engeren Sinne; dynamische Geologie.

Kapitel I.

Die Wärmeverhältnisse des Erdinneren.

§. 1. **Das Eindringen der Sonnenwärme.** Die Temperaturverhältnisse einer obersten Schicht der Erdkruste müssen für sich betrachtet werden, da sie von der Stärke der Insolation unmittelbar abhängig sind. Bis zu einer gewissen Tiefe machen sich die täglichen, bis zu einer grösseren Tiefe auch die jährlichen Temperaturschwankungen fühlbar, alsdann begegnen wir einer als neutral zu bezeichnenden Schicht, und erst jenseits letzterer beginnt jener Raum, dessen Wärme man als Eigenwärme der Erde betrachten darf. Wir haben es hier vorläufig nur mit jenem äussersten Kugelringe zu thun.

Entdeckt ward die Existenz der neutralen Schicht durch die Beobachtungen La Hire's und D. Cassini's an einem im Keller der Pariser Sternwarte aufgestellten Thermometer, welches seit mehr denn 100 Jahren ununterbrochen 11,82° zeigt; nach Graf J. D. Cassini de Thury [1] beträgt dort die Jahresschwankung höchstens 0,02°, nach Bouvard ein klein wenig mehr. Aus diesen Beobachtungen, sowie späteren von Saussure, Hamilton, A. v. Humboldt schliesst Muncke, dessen treffliche Arbeiten über die Erdwärme [2] uns hier vielfach zur Richtschnur dienen, dass der Wärmeunterschied von Tag und Nacht bei 3 Fuss, der monatliche Einfluss bei 5 Fuss, der Unterschied in den Jahreszeiten endlich bei 30 Fuss verschwinde [3]. Fourier's rein theoretische Untersuchung wollte im ersteren Falle den Fuss durch das Meter ersetzen [4]; er stützte sich dabei auf die praktisch freilich wohl kaum zulässige Annahme, dass die Werthe der Temperaturschwankungen in einer geometrischen Reihe abnehmen, wenn die Tiefe in arithmetischer Progression wächst. Weitere Forschungen von Kupffer, Herrenschneider, Rudberg u. a. wurden in den Schatten gestellt durch die zusammenfassende Schrift Quetelet's [5], der für den jährlichen Gang der Bodentemperatur in der noch wirklich insolirten Schicht nachstehende Formel aufstellte: $y = a \sin (x + b) + c$; hierin ist y die Thermometerhöhe für die von einem

beliebigen Zeitpunkte an gerechnete Epoche x, c die mittlere Jahrestemperatur für das benützte Thermometer, a der halbe Unterschied zwischen Maximum und Minimum, b gleichfalls eine der Beobachtung unterliegende Konstante. Andererseits wollte Poisson [6] ermittelt haben, dass, wenn der Jahresabstand vom Maximum der Temperatur zum Minimum durch H und H′ für die Tiefen x und x′ bezeichnet werde, die Proportion

$$H' : H = 1 : e^{\frac{1}{5,11655}\sqrt{\pi}\,(x' - x)}$$

zu Recht bestehe. Höchst ausgedehnte Versuche verdankt man ferner Muncke (a. a. O.) und G. Bischof [7], doch lassen sich dieselben nicht wohl zu allgemeingültigen Sätzen verdichten, vielmehr muss man sich mit der Erkenntniss begnügen, dass die Erwärmung des Bodens von der Intensität der Sonnenstrahlung, von den Hydrometeoren und den über den Boden hinstreichenden Luftströmungen abhängig ist. Müttrich [8] hat die forstlichen Beobachtungen für einen grossen Theil Deutschlands gesammelt und ist dabei zu folgenden Resultaten gekommen:

Tiefe in m:	0,00	0,15	0,30	0,60	0,90	1,20
			Jahresamplituden.			
Im Freien:	21,6	19,5	18,3	17,4	16,1	14,8
Im Walde:	19,1	16,9	15,1	13,4	12,0	—
Differenz:	2,5	2,6	3,2	4,0	4,1	—
			Jahresmitteltemperaturen.			
Im Freien:	10,4	9,6	8,6	8,9	9,0	8,9
Im Walde:	8,9	8,2	7,9	8,2	8,2	—
Differenz:	1,5	1,4	0,7	0,7	0,8	—

Eine der wichtigsten Stationen ist die zu Königsberg i. Pr. von Dorn eingerichtete und von ihm in einer eigenen Monographie (daselbst 1872) beschriebene; ausserdem wurden sehr regelmässige Messungen der Bodenwärme auf der Sternwarte Bogenhausen bei München bis zu dem Tode ihres früheren Direktors Lamont angestellt; derselbe hatte ein ca. 6 m tiefes viereckiges Holzrohr in den Boden eingesetzt und darin auf eine ihm eigenthümliche Weise die Thermometer befestigt.

Es ist, wenn obiges der Fall, leicht einzusehen, dass die Tiefe der neutralen Schicht unter verschiedenen Breiten nicht die gleiche sein kann. Bedeutet t_φ die der geographischen Breite φ entsprechende mittlere Bodenwärme, so ist, unter a, b, α, β gewisse Erfahrungszahlen verstanden, $t_\varphi = a - b \sin^2 \varphi$ oder $= \alpha + \beta \cos^2 \varphi$, je nachdem man Kupffer [9] oder Kämtz [10] folgt*). Auf Grund der Formel verzeichnete namentlich der Letztere (a. a. O.) seine Isogeothermen oder Ortskurven gleicher mittlerer Bodentemperatur. Indess verlohnt es bei dem heutigen Stande unseres Wissens nicht, den Verlauf dieser Kurven näher zu untersuchen. Wie leicht bei solchen Bestimmungen Fehler mit unterlaufen, beweist uns das in der Geschichte

*) Beide Formeln besagen im Grunde das Nämliche; es ist, weil $\sin^2 \varphi = 1 - \cos^2 \varphi$ gesetzt werden kann, $\alpha = a - b$, $\beta = b$ zu nehmen.

der Geophysik zu einer gewissen Berühmtheit gelangte Beispiel Boussingault's, der [11] ermittelt haben wollte, dass in den Tropengegenden Südamerika's schon in $^1/_3$ m Tiefe die Variationen der Wärme aufhörten, merklich zu sein; dass er hierin irrte, ist von Wild und Hann [12] dargethan worden. Selbst in jenen Ländern dürfte (a. a. O.) ein Hinabsteigen bis zu 5 m Tiefe nöthig werden, um die neutrale Schicht zu erreichen. Hann giebt auch an, dass Luft- und Bodentemperatur von einander sich bis auf einen ganzen Grad entfernen können, und damit ist der Werth des schon von Bergman gemachten Vorschlages, die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes durch Beobachtung eines in die Erde eingegrabenen Thermometers zu erhalten [13], wesentlich gemindert, obwohl man ihn als Nothbehelf immerhin auch künftig gelten lassen mag.

In jenen Ländern, deren mittlere Jahrestemperatur nur sehr wenig über dem Nullpunkte oder gar unterhalb desselben liegt, wird man sehr bald unter dem Erdboden auf eine stets gefrorene und niemals aufthauende Schicht stossen: auf den unterirdischen Eisboden. Gmelin war es, der zuerst die Nachricht nach Europa brachte [14], in Jakutsk habe man das Graben eines Brunnens bei 90 Fuss Tiefe aufgeben müssen, weil die gefrorene Erde nicht mehr zu durchbohren gewesen sei, aber obwohl Pallas [15] Aehnliches aussagte, so glaubten doch L. v. Buch [16] und Andere (z. B. Hansteen) aus theoretischen Gründen diesen Angaben jeden Glauben versagen zu sollen. Jener berühmte Schergin-Schacht in Jakutsk, für den sich Wrangel und v. Middendorff so lebhaft interessirten, ward bis zu einer Tiefe von 116,5 m hinabgetrieben, und doch war auf dem Grunde die Temperatur noch nicht einmal bis zu Null gestiegen [17]. Bei Peschel-Leipoldt finden wir, mit Berufung auf eine von Fritz gezeichnete Karte, die Grenze des ewigen Bodeneises folgendermassen umschrieben [18]: „Sie führt von der Tanamündung (Finmarken, $70^1/_2{}^0$ n. Br.) nach Kandalaschka (67^0, somit liegt die Halbinsel Kola ganz im Gebiete des Eisbodens), erscheint jenseits des weissen Meeres genau westlich von dem Orte Mesén (66^0), überschreitet den Ural unter 62^0 n. Br., nähert sich Tobolsk von Nord her bis auf 10 g. M., geht südlich von Tomsk vorüber (56^0), durchkreuzt nördlich von dem Austritt der oberen Tunguska den Baikalsee (53^0), fällt zwischen 130^0 und 140^0 ö. L. v. F. nahezu mit dem 50. Parallelkreis zusammen und verlässt nördlich von der Amurmündung (54^0) den asiatischen Kontinent. Kamtschatka wird etwa unter 58^0 nördlicher Breite von ihr durchschnitten. In Nordamerika beginnt die Eisbodengrenze am Norton-Sund (unter 64^0), läuft südlich von Fort Simpson vorbei, berührt das Nordende des Winipeg-See's (54^0), sowie das Südende der Hudsonsbay (51^0) und endigt auf der Halbinsel Labrador zwischen Nain und Hoffnungsthal (56^0). Grönland liegt ganz innerhalb des Eisbodengebietes." Wild betrachtet [19] die Isotherme von -2^0 als die Südgrenze des fraglichen Gebietes, doch bleibt dabei zu beachten, dass diese Linie auf den Karten als für das Meeresniveau gezeichnet erscheint, und dass die Temperatur für je 100 m Höhe etwa um $^1/_2{}^0$ fällt, so dass also bei 400 m Seehöhe der Eisboden schon in dem von der 0^0 Isotherme durchzogenen Territorium seinen Anfang nehmen kann. Das Vorhandensein der indifferenten Zwischenschicht macht es schwierig, sich

mit den in Krašan's Arbeit „Die Erdwärme als pflanzengeographischer Faktor" (Engler's bot. Jahrb., II, S. 185 ff.) durchgeführten Principien einverstanden zu erklären. Indess ist hier noch nicht der Ort, dieser Frage näher zu treten*).

§. 2. Die Zunahme der Wärme jenseits der neutralen Schicht. Die Frage, wie sich zunächst der Oberfläche die Erdtemperatur verhalte, gehört, wie wir sahen, nicht so sehr in das Gebiet der Erdphysik im engeren Sinne, als vielmehr in dasjenige der Meteorologie. Wie aber steht es jenseits der neutralen Schicht? Anhänger der Nebulartheorie müssen a priori den Schluss ziehen, dass jeder aus einem Zustande äusserster Dislokation der Theilchen in den Zustand der Erstarrung übergegangene Himmelskörper, also auch die Erde, gegen den Mittelpunkt zu wärmer und wärmer werden würde. Es fragt sich, ob die Beobachtungen dem entsprechen.

Schon Athanasius Kircher hatte von Freiberger Grubenarbeitern in Erfahrung gebracht [22], dass in der Tiefe die Hitze zunehme. Eben in diesem Sinne äusserten sich der Mediziner Boerhave [23] und der Physiker Boyle [24]. Der Schweizer J. Ott (1715—1769) erwarb sich, wie R. Wolf [25] berichtet, ein entschiedenes Verdienst dadurch, dass er auf Lambert's Anregung hin Jahre lang Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen mass, und zwar in der ausgesprochenen Absicht, das Fortpflanzungsgesetz der Wärme im Erdinneren auszumitteln. Sieben Thermometer wurden je $^1/_4$, $^1/_2$, 1, 2, 3, 4, 6 Fuss tief eingesenkt. Anno 1766 legte Ott seine Ergebnisse der Berner physikalischen Gesellschaft vor, auch bemerkt das Sitzungsprotokoll in der Sprache der damaligen angewandten Mathematik, es liessen sich die Temperaturunterschiede schon so ziemlich auf eine bestimmte krumme Linie bringen. Lambert sandte der Gesellschaft eine „Die Vertheilung der Sonnenwärme in der Erde nach Anleitung der von Herrn Ott darüber angestellten Beobachtungen" betitelte Arbeit ein, die jedoch nicht zum Druck gelangte. Unter die neutrale Schicht herab gelangte Ott freilich nicht. Aus der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts sind nach Muncke's Zeugniss (a. a. O.) dahin gehende Aeusserungen von Freiesleben und Lampadius zu verzeichnen; man vergleiche auch die von Reich [26] gegebene geschichtliche Uebersicht. Mairan, v. Trebra, Saussure und ganz besonders D'Aubuisson ist es zu danken, dass die Diskussion der Frage ununterbrochen Fortschritte machte. Von Ausnahmen abgesehen, deren gleich nachher eigens zu gedenken sein wird, herrschte bald eine gewisse Einstimmigkeit darüber, dass jeder Bewegung auf einem Erdradius gegen den Mittelpunkt hin eine Vermehrung der Temperatur entspreche, und es kam nun darauf an, das Gesetz der geothermischen Tiefenstufen empirisch für verschiedene Verhältnisse zu erkunden. In Kürze lässt sich somit die zu stellende Frage folgendermassen formuliren: Um wieviel Meter muss

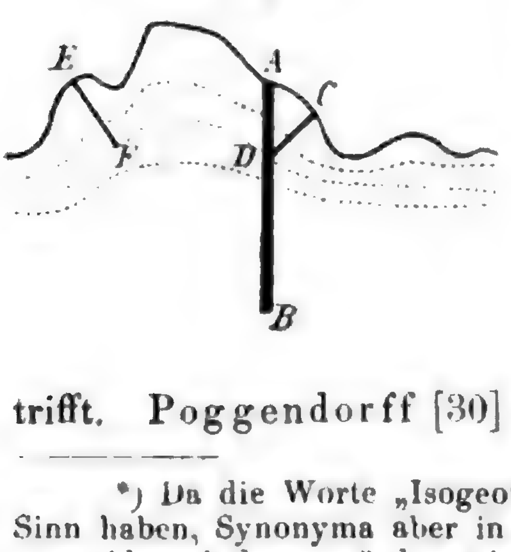
---

*) Anhangsweise bemerkt sei noch, dass schon Hales [20] bei Gelegenheit seiner pflanzenphysiologischen und Mairan [21] bei Gelegenheit meteorologischer Untersuchungen die Nicht-Uebereinstimmung von Boden- und Lufttemperatur behauptet hatten.

man in der Richtung nach dem Erdcentrum sich vorwärts bewegen — und zwar von der unveränderlichen Schicht an — damit das hunderttheilige Thermometer um 1° steige? Es ist dabei vorläufig angenommen, dass dieses Wachsthum der Temperatur gleichförmig erfolgt, obwohl diese Annahme natürlich nur den Charakter einer ersten Annäherung besitzt und durch die Praxis vielfache Einschränkungen erleidet.

Die Messung selbst kann nun entweder dadurch geschehen, dass man in tiefen Schachten Beobachtungen der dortselbst zu findenden Luft, oder auch des Grubenwassers, oder endlich auch des den Schacht einschliessenden Gesteines anstellt. Andererseits ist man auch von dem freilich nur im Grossen und Ganzen richtigen Gedanken ausgegangen, dass bewegte Flüssigkeiten die Temperatur in der Gegend ihres Ursprunges nach aussen übermittelten, und hat dem entsprechend Wärmemessungen in artesischen Brunnen und in natürlichen Quellen gemacht. Dass all' diesen Versuchen nur ein sehr relativer Werth für die Lösung des Erdproblemes zukommen könne, erhellt, von Anderem abgesehen, schon aus der im Verhältniss zum Erdhalbmesser äusserst geringen Tiefe, welche dem Menschen zu erreichen gewährt ist. Als das tiefste vorhandene Bohrloch betrachtet man mit v. Dechen [27] gewöhnlich jenes von Sperenberg in der Mark (1272 m), doch erwähnt Huyssen [28] in seiner Uebersicht über die vom preussischen Staate unternommenen Tiefbohrungen, dass man bei Lieth in Holstein eine Tiefe von 1339 m erreicht habe. Die grösste Stollentiefe mit 1152 m Tiefe dürften die Kuttenberger Bergwerke aufweisen. Der tiefste artesische Brunnen endlich ist nicht etwa der bekannte von Grenelle bei Paris, sondern er befindet sich in St. Louis. Im Jahre 1865 war man schon 565 m weit hinabgekommen, ohne das Ziel zu erreichen [29]. Diesen Mängeln jeder subterranen Wärmebestimmung vermag menschliche Kraft nicht abzuhelfen, wohl aber hat man eine anderweite Fehlerquelle erkennen und vermeiden gelernt. Es handelt sich nämlich doch (vgl. das letzte Kapitel der vorigen Abtheilung, §. 5) darum, den thermometrischen Gradienten jener Kurven, der von Bischof mit diesem Namen belegten Chthonisothermen*), zu finden, für welche die Erdtemperatur den nämlichen Werth besitzt. Fig. 58 stellt eine solche Kurvenschaar unmittelbar unter einem coupirten Terrain dar, die Linien CD und EF repräsentiren die zur Ermittelung des Gradienten dienenden orthogonalen Trajektorien. Würde nun in A ein Bohrloch angelegt, dessen Richtung AB selbstverständlich mit der Vertikalen übereinstimmt, so dürfte dessen Axe keinesfalls zur Abmessung der Gradienten verwendet werden, da sie ersichtlich die Isothermkurven unter schiefen Winkeln trifft. Poggendorff [30] und Studer [31] betonten also mit Recht

Fig. 58.



*) Da die Worte „Isogeothermen“ und „Chthonisothermen“ den nämlichen Sinn haben, Synonyma aber in der wissenschaftlichen Kunstsprache möglichst zu vermeiden sind, so würden wir vorschlagen, die erstere Bezeichnung ausschliesslich für die oberhalb und die letztere ausschliesslich für die unterhalb der neutralen Schicht verlaufenden Kurven zu wählen.

die Nothwendigkeit, eine auf dem jeweiligen Terrain senkrechte Axe zu wählen, wie CD oder EF in unserer Figur, denn da man annehmen kann, dass die neutrale Fläche ungefähr der Oberfläche parallel verläuft, so wird jene Axe auch annähernd senkrecht stehen zu den zunächst anliegenden Chthonisothermen. Diese Kautel ist namentlich zu berücksichtigen bei den neuerdings zu besonderer Wichtigkeit gelangten Messungen im Inneren eines Tunnels.

§. 3. **Temperaturbeobachtungen in Gruben.** Die ersten mit einer gewissen Konsequenz durchgeführten Versuchsreihen dieser Art rühren von Gensanne und Lean her [32]. Ersterer fand zu Giromagny bei Belfort 12,5° in 110, ferner 13,1° in 206, 19° in 308 und 22,7° in 433 Meter Tiefe, letzterer stellte die folgende Tabelle auf:

Sommerbeobachtungen.		Winterbeobachtungen.	
5,5 m:	18,5°	5,0 m:	11,1°
91,0 m:	29,5°	91,0 m:	17,2°
146,0 m:	20,0°	183,0 m:	19,0°
295,0 m:	21,7°	293,0 m:	21,1°
329,0 m:	22,7°	329,0 m:	23,3°
348,0 m:	26,1°	366,0 m:	25,5°

Eine ähnliche, wenn schon gleichfalls unregelmässige Zunahme der Erdtemperatur konstatirten Fantonetti in italienischen und A. v. Humboldt in neuspanischen Gruben [33]. Alle diese Messungen bezogen sich jedoch nur auf die Grubenluft, und es wirken mehrere Umstände zusammen, um gerade dieses Element als für die Beantwortung der Frage sehr ungeeignet erscheinen zu lassen. Es war zuerst Cordier, der diese Thatsache feststellte und auf einen verbesserten Beobachtungsmodus drang [34]; er wendet sich jedoch auch gegen die Benützung der Grubenwässer, da man nicht wisse, aus welcher Höhe sie beim Zutagetreten bereits herabgesunken und durch welche Kanäle sie vorher gelaufen seien. Fox hatte durch Einführung des Thermometers in die ausgepumpten Wasser einiger Minen von Cornwall das etwas prekäre Ergebniss erhalten [35], dass die geothermische Tiefenstufe in Kupferbergwerken blos 30, in Zinnbergwerken dagegen 75 englische Fuss betrage. Cordier selbst empfahl angelegentlich das Einschliessen des Instrumentes in den Felsen der Schachte und arbeitete selbst nach diesem Principe drei Jahre hindurch in drei französischen Gruben mit Wärmemessern, welche vorher der Landessternwarte zur Vergleichung vorgelegen hatten. Seine Durchschnittszahl für die Tiefenstufe belief sich auf 25 m. Seit 1828*) besitzt man regelmässige Temperaturbestimmungen aus den preussischen Werken, doch wurden vergleichbare Konstanten nicht erzielt [36]. Mit Aufbietung aller Genauigkeit damaliger Zeit wurden hingegen die in der uns bereits bekannten Arbeit von Reich (s. o.) beschriebenen Beobachtungen ausgeführt. Durch eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung eigenthümlicher und durchaus nicht über jeden Einwurf erhabener Art, der jedoch nicht so leicht eine bessere zu substituiren sein dürfte, sah sich

*) In diesem Jahre veranlasste nämlich Humboldt die Austheilung von zu diesem Zwecke bestimmten Thermometern an sämmtliche Grubendirektionen des Königreiches.

Reich veranlasst, jede Einzelbestimmung für die mit x bezeichnete Zunahme der Temperatur auf je 100 m Tiefe mit einem Gewicht zu versehen, das er auf seine eigene Weise ermittelte, ihm zufolge

$$x = \frac{100\,(t_2 - t_1)}{h_1 - h_2}, \quad P = \frac{(h_1 - h_2)\sqrt[4]{\tau}}{\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}}.$$

Hier bedeuten h_1 und h_2 die Meereshöhen der beiden Beobachtungsstationen, t_1 und t_2 die daselbst gemessenen Temperaturen, τ ist die Zeitdauer der Beobachtung in Monaten, während D_1 und D_2 die grössten Temperaturschwankungen am oberen und unteren Platze vorstellen. Hiernach berechnete Reich die geothermische Tiefenstufe zu 41,84 m. J. Phillips fand in einem noch jungfräulichen Schachte zu Newcastle nicht ganz 33 m, Kupffer im Ural 19,52 m [37], Matteucci endlich erhielt in der Steinkohlengrube zu Monte-Massi in Toskana den ungemein niedrigen Werth von 13,7 m [38]. Neueren Zusammenstellungen von Zöppritz [39] entnehmen wir, dass Marsilly in der Kohlengrube von Anzin (Nordfrankreich), je nachdem er einen der vier vorhandenen Schachte wählte, 25,9 m, 20,7 m, 15,6 m und 15,4 m, Schwartz zu Schemnitz 41, 4m, Heckels zu Newcastle 26.9 m ermittelte. Durch ganz abnorme Verhältnisse der Wärmezunahme zeichnet sich die amerikanische Comstockgrube aus, welche Church zuerst allgemein geologisch [40] und dann noch einmal speziell kalorimetrisch [41] geschildert hat. Eine andere für unsere Zwecke Erfolg versprechende Grube ist der sogenannte Formanschacht in Nevada, jener ersterwähnten benachbart und vielleicht durch sie beeinflusst: wenigstens ist Stapff [42] dieser Meinung, weil sich so die sonst auffällige Erscheinung am besten erklärt, dass mit zunehmender Tiefe das Temperaturwachsthum wieder abnimmt. Stapff entwickelt auch für die Gesteinstemperatur t in der Tiefe h nach der Methode der kleinsten Quadrate (a. a. O.) eine Formel, welche er später, auf Grund neuer Angaben Forman's, durch eine andere ersetzt [43]; wir führen nachstehend beide an:

$$t = 10{,}31 + (h - 30{,}48)\sqrt{0{,}005568 - 0{,}00000391\,(h - 30{,}48)};$$

$$t = 9{,}92 + h\sqrt{0{,}004497 - 0{,}000002308\,h}.$$

Stapff's Abhandlungen erscheinen auch noch aus einem anderen Grunde bemerkenswerth, nämlich wegen der darin anzutreffenden Betrachtungen über die wechselseitigen Beziehungen zwischen innerer Gesteinstemperatur, Bodentemperatur und mittlerer Lufttemperatur.

§. 4. **Temperaturbeobachtungen in Bohrlöchern.** Dieselben erfreuen sich, selbst wenn nicht noch Anderes hinzukäme, des Vortheils, dass es möglich ist, die Thermometer der einzelnen Stationen genau in der nämlichen Vertikallinie anzubringen. Zuerst scheint sich dieses Umstandes der bekannte Physiker P. Erman bewusst geworden zu sein; er wählte das Bohrloch zu Rüdersdorf unweit Berlin [44], wo 90 Fuss Tiefe dem Steigen des (Réaumur'schen) Thermometers um 1° zu entsprechen schienen. Magnus setzte diese Beobachtungen fort [45], und zwar konstruirte er eigens zu diesem Behufe sein Geothermometer, das sich von den gebräuchlichen Instrumenten wesentlich nur durch seine etwas weitere Röhre und einen Cylinder von angemessener Grösse unterscheidet. Er glaubte, Erman's Zahl 90

h 69 ersetzen zu müssen. De la Rive und Marcet [46] benen in einem artesischen Brunnen bei Genf 32,55 m auf 1°, und benundzwanzig Quellen dieser Art in und bei Wien lieferten den Mittelwerth von 27 m. Im Allgemeinen können die aus Beobachtungen an artesischen Brunnen abgezogenen Resultate nicht als die zuverlässigeren gelten, ein Theil des aufgetriebenen Wassers sinkt, sowie es kälter und damit spezifisch schwerer wird, wieder in die Tiefe, und es wird so ein Cirkulationsakt eingeleitet, dessen Wirkungen sich in einer Veränderung der Tiefenstufen offenbaren. Von einer in Pest vorgenommenen Brunnenbohrung berichtet z. B. Zöppritz [47] nach Zsigmondy Folgendes: Der Temperaturgradient, der im Ganzen 1° auf 12,6 m beträgt, vertheilt sich sehr ungleich auf die Tiefe, denn von 58 m bis 159 m stieg die Temperatur von 15° auf 30°, bis 370 m auf 45°, bis 570 m auf 60°, bis 900 m auf 80,9°.“ Diese Anomalien regen auch dieser Katagorie von Messungen gegenüber unwillkürlich zu einem gewissen Skepticismus an*). — Noch weniger Verlass ist selbstverständlich auf die Temperaturen natürlicher Quellen, bei deren Entstehung die meteorischen Gewässer eine völlig unkontrolirbare Rolle spielen; wir werden hierauf in dem den Quellen speziell gewidmeten Kapitel zurückkommen.

Jedenfalls das Sicherste und Beste, was für interne Erdtemperaturen bisher geleistet wurde, verdankt man Dunker's Messungen mit einem vervollkommneten (Magnus'schen) Geothermometer im Bohrloche zu Sperenberg; in einer grossen Abhandlung beschreibt der genannte verdiente Montanist [49] den Plan seiner Untersuchung und die Vorsichtsmaassregeln, welche er anwandte, um jenes Aufsteigen wärmeren und Sinken kälteren Wassers, wovon wir oben sprachen, thunlichst zu verhindern. Er stellte zur Berechnung der Temperatur t aus der Tiefe h einen für h quadratischen Ausdruck auf, substituirte ihm aber später einen solchen vom dritten Grade [50]. Die betreffenden Formeln sind diese:

$$t = 7^\circ 18' + 0{,}01298571818\, h + 0{,}00000125701\, h^2;$$
$$t = 7^\circ 18' + 0{,}01783521\, h - 0{,}00000580396\, h^2 + 0{,}0000000008726\, h^3.$$

Beide Relationen, so unsäglich viel Mühe auch an ihre Ableitung, d. h. an die Ermittelung der konstanten Koefficienten, gewandt wurde, leiden doch an einem principiellen Uebelstande. Für $t = a + \alpha_1 h + \alpha_2 h^2$ und $t = a + \alpha_3 h - \alpha_4 h^2 + \alpha_5 h^3$ ist nämlich resp.

$$\frac{dt}{dh} = \alpha_1 + 2\alpha_2 h, \quad \frac{dt}{dh} = \alpha_3 - 2\alpha_4 h + 3\alpha_5 h^2,$$

und da bei Einsetzung der wirklichen Werthe für die zweiten Differentialquotienten negative Werthe sich ergeben, so schiene zu folgen, dass für

$$h = -\frac{\alpha_1}{2\alpha_2} \text{ resp. } h = \frac{\alpha_4 \pm \sqrt{\alpha_4^2 - 3\alpha_3\alpha_5}}{3\alpha_5}$$

ein Temperaturmaximum einträte, was doch sachlich nicht wohl mög-

*) Auch diejenigen Versuchsreihen, denen das von Walferdin angegebene selbstregistrirende Thermometer zu Grunde lag, stimmen nicht überein. Arago glaubte der Reibung des Bohrgestänges einen erheblichen Einfluss zuschreiben zu sollen [48].

lich ist. Henrich war deshalb wohl im Rechte, sich [51] gegen Dunker's Berechnungsmethode zu erklären, und wir können nicht finden, dass die in dem Streite des Ersteren mit Brauns [52] gegen sein eigenes Verfahren erhobenen Einwände gerechtfertigt wären. Denn Henrich macht geltend, dass Dunker die Summe der Fehlerquadrate nicht zu einem Minimum gemacht und mit 0,7° einen im Verhältniss zu der Güte des Geothermometers zu hohen wahrscheinlichen Fehler zugelassen habe. Die neue Formel Henrich's, nach welcher $t = 12{,}273^\circ + 0{,}007\,449\,h$ zu setzen ist, möchte den Dunker'schen immer noch vorzuziehen sein; ihr wahrscheinlicher Fehler beläuft sich nur auf 0,3°. Darin muss man freilich nach all' diesen Leistungen J. L. A. Roth beistimmen, der als einer der Ersten über die Sperenberger Temperaturmessungen geschrieben hat [53], dass ein festes Gesetz über die Variation der Erdwärme denselben nicht entnommen werden kann.

§. 5. **Temperaturbeobachtungen in Tunnels.** Systematisch und in grösserem Style hat diese Aufzeichnungen wohl zuerst der bekannte Geologe des Gotthard-Unternehmens, Stapff, betrieben; seine erste grössere Arbeit darüber erschien [54] schon 1877, und später konstruirte er [55] ein vollständiges Temperaturprofil des durchbohrten Gebirgsstockes. Die wichtigsten Resultate Stapff's nahm Koch [56] in seine zusammenfassende Schrift über diesen Gegenstand auf, aus welcher grossentheils die folgenden Mittheilungen herübergenommen sind.

Aus dem Montcenis- und Arlberg-Tunnel besitzt man leider nur sehr geringfügiges Material über die daselbst herrschenden Luft- und Gesteinstemperaturen. Bei'm Gotthard verhält es sich anders; Stapff schob seine Beobachtungsstationen bis 4100 m vom Südportal und 4400 m vom Nordportal vor und diskutirte deren Registrirungen mit Bezug auf die mittleren Jahrestemperaturen der Oberfläche, auf die Quellentemperaturen, auf die vertikale Tiefe des Beobachtungsplatzes und auf dessen kürzesten Abstand von der nächsten Seitenwand des Berges. Die mittlere Gesteinstemperatur des centralen Tunneltheiles war 30,43°; der nach erfolgtem Durchschlag sich einstellende Luftstrom bewirkte alldort im Verlaufe zweier Monate blos einen Rückgang von 0,15° bis 0,21°. Die einzelnen Chthonisothermflächen oder Flächen von gleicher subterraner Temperatur wiesen sehr verschiedene Steigungen gegen die Oberfläche des Berges auf, namentlich vertikal unter dem Hochplateau von Andermatt. Auf der nördlichen Tunnelseite betrug die Wärmestufe anfänglich 20,5 m, ja unter dem steilen Abfall der Wannelen sogar blos 42,6 m; auf der Südseite 45 m und unter dem Steilkamm der Cima Boita-Misura 62,3 m. Es wird also das Profil der Chthonisothermen wesentlich durch jenes des überlagernden Gebirges bedingt, jedoch dem Sinne nach entgegengesetzt. Fig. 59 kennzeichnet dieses Verhältniss; AA ist der Durchschnitt einer Vertikalebene mit dem Berge selbst, BB die Schnittcurve derselben Ebene mit einer Fläche der Chthonisothermen. Das Tunnelwasser ist kälter als das Gestein, so lange des letzteren Temperatur nicht 24° bis 25° übersteigt, bei dieser Grenze aber tritt ein Umschwung ein, die Gewässer übertreffen die Felsen an Wärme.

Einer von Stapff herrührenden empirischen Formel zufolge steht fest, dass es im Arlberg-Tunnel unter sonst gleichen Umständen wärmer sein muss, als im Gotthard-Tunnel. Für die vorgeschlagene Simplonlinie findet man als centrale Temperatur 45° bis 48°, für die Mittelstrecke des projektirten Montblanc-Tunnels sogar 51°. Obwohl Eiweiss erst bei 60° sich zu trüben anfängt, und Menschen im Ruhezustande eine sehr hohe trockene Hitze auszuhalten vermögen — man denke nur an die von Poggendorff [57] citirten Versuche eines Banks, Fordyce, Solander und Phipps am eigenen Leibe —, so wird doch in der feuchtwarmen Atmosphäre eines Tunnels das Arbeiten schon bei 40° mühsam und gefährlich. Den Tunnelprojekten der Westschweiz eröffnet sich hiernach eine schlechte Prognose. Ganz in gleichem Sinne sprach sich auch A. Heim [58] betreffs der Unterführung des Montblanc aus; die sogenannte „Galerie sous vallée“, so meint er, werde mit grossen Schwierigkeiten geologischer Natur zu kämpfen haben, und wenn diese auch für den „Grand tunnel“ in Wegfall kämen, so erweise sich dort die hohe Temperatur als Hinderniss. Den aus den Schnee- und Eismassen des Berges hergeleiteten Trost vernichtet Heim durch den Hinweis darauf, dass Gletscher erfahrungsgemäss erst dann auf die anruhenden Gesteinsmassen abkühlend wirken, wenn sie in ein Gebiet höherer mittlerer Jahrestemperatur herabgestiegen sind.

Fig. 59.



§. 6. **Allgemeine Resultate und theoretische Schlussfolgerungen.** Man mag über den Werth der verschiedenen Versuche, Klarheit über den Temperaturzustand des inneren Erdkörpers zu erlangen, wie immer denken: eine stetige Wärmezunahme von der Oberfläche nach dem Centrum hin lässt sich schwerlich in Abrede stellen. Freilich hat es niemals ganz an Gegnern dieser Auffassung gefehlt. So namentlich in früherer Zeit Moyle [59] und Miller [60], welche mit etwas gesuchten Gründen die Beobachtungen in Gruben mit noch weit mehr Fehlerquellen behaftet sein liessen, als es wirklich der Fall ist. Auch G. F. Parrot hielt [61] die Nichtübereinstimmung der einzelnen Beobachtungsreihen für gross genug, um zu behaupten, dass von einem radialen Zunehmen der Erdtemperatur nicht gesprochen werden dürfe; er schüttete also das Kind mit dem Bade aus. Seinen vorgefassten Meinungen zuliebe gehörte auch Poisson zu dieser gegnerischen Richtung, doch war ihm in der Behauptung, dass man es nicht sowohl mit einer Eigenwärme der Erde, als vielmehr mit einer in ihr aufgespeicherten „chaleur stellaire“ zu thun habe, bereits Aepinus [62] vorangegangen. Die Erde ist nach Poisson [63] als Trabant der den Weltraum durcheilenden Sonne — vgl. den letzten §. des vorletzten Kapitels der vorigen Abtheilung — in Regionen von verschiedener Sternwärme gekommen, und die in diesen Regionen herrschende Temperatur ist stets bis zu einer gewissen Tiefe, jedoch niemals sehr weit, in den Erdkörper eingedrungen; „man kann diesen als einen Felsblock

betrachten, der vom Aequator nach dem Pole geschafft wurde, aber in einer so kurzen Zeit, dass er nicht ganz zu erkalten vermochte. Die Temperaturzunahme in diesem Blocke würde sich nicht bis zu den Schichten seiner Mitte erstreckt haben." Ausser Humboldt, dem wir diese vorstehende Uebersetzung verdanken [64], haben Poggendorff [65], Lamont [66] und Pilar [67] diese sonderbare Theorie bekämpft; Archiac [68] sagt treffend, Poisson müsse sich doch wohl gedacht haben, dass seine Erde direkt einen Stern gestreift habe. Heutzutage ist Poisson's Lehre fast gänzlich vergessen, dafür aber ist später Mohr als neptunistischer Fanatiker gegen die Hypothese einer progressiven Erdwärme aufgetreten [69] und hat zumal aus Dunker's Formeln (s. o. §. 4) Kapital zu schlagen versucht. Es ist ja wahr, gäbe es diesen Formeln zufolge ein Temperaturmaximum in relativ geringer Tiefe, so wäre die Frage in Mohr's Sinne entschieden, doch sahen wir schon, dass man den Fehler in der algebraischen Einkleidung eines Naturgesetzes nicht mit diesem letzteren verwechseln darf. Wir glauben somit, dass alle Einwürfe gegen die von uns vorgetragene Lehre ihr Ziel verfehlt haben. Mohr's eigener Versuch, die innere Wärme der uns zugänglichen Schichten der Erdkruste nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie aus Bewegungsvorgängen abzuleiten, fand eine treffende Kritik durch F. Pfaff [70], der die ungeheuren rechnerischen Uebertreibungen, die bei Mohr mit unterlaufen, an geeigneten Beispielen kennzeichnete.

Ein gültiges Gesetz der geothermischen Tiefenstufen oder der chthonisothermischen Gradienten aufstellen zu können, davon sind wir freilich noch sehr weit entfernt. Kupffer findet [71] bei Sichtung des zu damaliger Zeit vorliegenden Materiales, dass seine eigenen Beobachtungen am Ural (s. o. §. 4) 24,8 m, die südenglischen, französischen und sächsischen Messungen zusammen 26,9 m, die artesischen Brunnen von Wien, Rochelle und Epinay je 25,4 m, 24,6 m und 22,9 m, gewisse Untersuchungen von Fox endlich resp. 30,2 m und 28,0 m liefern. Mit gehöriger Beachtung der jeder Zahl zukommenden Gewichte resultirt hieraus ein Werth von 25,37 m für 1° R., also von 20,296 m für 1° C. Gewöhnlich betrachtet man 30 m als Durchschnittswerth der Tiefenstufe. Die als „British Association" wohlbekannte grossbritannische Naturforscherversammlung hat einen Ausschuss zur Sammlung von neuen Beobachtungsdaten niedergesetzt und lässt sich durch dessen Schriftführer Everett alljährlich einen Rechenschaftsbericht erstatten [72]. Er that diess schon zweimal [73] und konnte feststellen, dass neuere Bestimmungen in englischen Gruben jeweils die Werthe 26,6 m, 34,1 m und 42,1 m ergaben.

Die mathematische Analyse vermag der Vertheilung der Wärme auch in jenen Tiefen der Erde nachzuspüren, bis zu welchen keine unmittelbare Sonde mehr hinabzureichen vermag. Fourier und Poisson haben in ihren uns bereits bekannten Untersuchungen über die Wärmeleitung den zu diesem Ende zu beschreitenden Weg vorgezeichnet, W. Thomson führte die Methode weiter aus [74] und stellte die Formeln übersichtlich zusammen [75]. Die Erde wird als ein unendlich ausgedehnter Körper genommen, und zugleich wird vorausgesetzt, vor sehr langer Zeit habe die Temperatur zu beiden Seiten einer den Körper durchschneidenden unendlichen Ebene verschiedene, aber

konstante Werthe gehabt. — Es sei k das Leitungsvermögen dieses Körpers, V die halbe Differenz beider Anfangstemperaturen, V_0 deren arithmetisches Mittel, t die seit dem Bestehen jenes Anfangszustandes verflossene Zeit, x der Abstand eines variablen Punktes von der Trennungsebene, v die Temperatur der durch x fixirten Ebene zur Zeit t (also dv: dx der Gradient der Temperatur); dann ist die partielle Differentialgleichung

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \varkappa \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

aufzulösen, und zwar muss v, wenn t = 0 wird, für ein positives x in $(V_0 + V)$, für ein negatives in $(V_0 - V)$ übergehen. Thomson findet successive folgende beide Lösungen *)

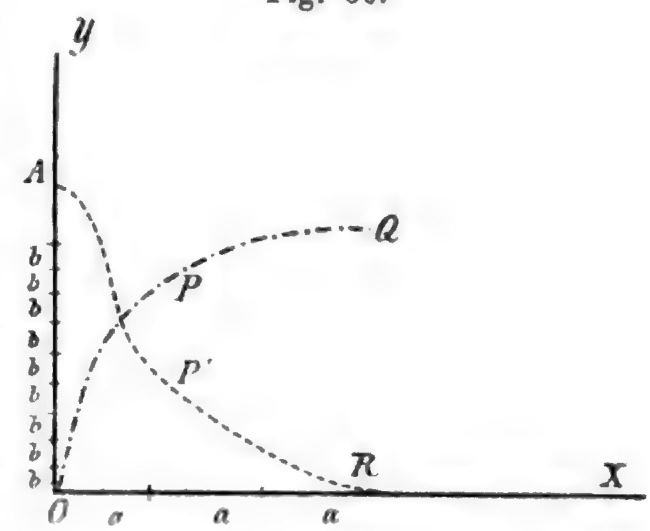
$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{V}{\sqrt{\pi \varkappa t}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4 \varkappa t}}; \quad v = V_0 + \frac{2V}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\varkappa t}}} e^{-z^2} \cdot dz.$$

Wendet man diese Lösung auf unsere Erde an, so begeht man allerdings Fehler, die jedoch angesichts des grossen Volumens der Erde nicht belangreich sein können. Thomson setzt den Diameter der Erdkugel = 8000 englischen Meilen, k = 400, t = 100 000 000 Jahren und erhält so

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{V}{35\,400} \cdot e^{-\frac{x^2}{160\,000\,000}}.$$

Die in Fig. 61 abgebildeten Kurven stellen den Gang der Temperatur im Erdinneren dar. Auf der X-Axe OX nimmt Thomson jedes $a = 400\,000$ engl. Fussen, auf OY jedes $b = \frac{1}{354\,000}$ von V an. Dann zeigt die Kurve AP′R die Grösse der Temperaturzunahme nach dem Erdcentrum hin, während die Kurve OPQ den Ueberschuss der Temperatur im Erdinnern über jene der Oberfläche zum Ausdrucke bringt. Die Bischof'schen Versuche mit einer glühend gemachten Basaltkugel [77] scheinen diesen theoretischen Ergebnissen nicht zu widersprechen; dieselben wurden neuerdings von Ayrton und Perry wieder aufgenommen, und Milne stellte die von letzteren Forschern erzielten Temperaturkurven mit den aus dem Fourier-Thomson-schen Kalkul sich ergebenden in eine kritische Parallele.

Fig. 60.



Die oft sehr auffallenden Verschiedenheiten in den Werthen der Tiefenstufen finden nicht selten eine ganz zufriedenstellende Erklärung,

*) Thomson selbst deutet (a. a. O.) seine Lösungsmethode nur an; einen ausführlichen Beweis für die Richtigkeit obiger Ausdrücke giebt Hempel [76].

wenn man auch den individuellen Charakter der Gesteinsart in Rechnung zieht, innerhalb deren die Messungen vor sich giengen. Man würde freilich zu weit gehen, wenn man sämmtliche intern-tellurische Wärmeerscheinungen durch chemische Processe entstanden annehmen wollte, doch wird ein anomales Unterbrechen der arithmetischen Progression, in welcher die Erdwärme in homogenem Fels wächst, vielfach eine mineralchemische, häufig eine rein physikalische Deutung zulassen. Kupfer z. B. ist ein sehr gut leitendes Metall, in oder nahe bei einem Kupfergange wird daher, nach Cordier (s. o. §. 3), die Temperatur eine ungewöhnlich hohe sein. Die Kaolinbildung in trachytischem Gesteine wirkt als lokaler Wärmeheerd bei der Comstockgrube; wenigstens erachtet Stapff (s. o. §. 3) die Existenz eines durch Zersetzungsvorgänge entstandenen und nicht sehr tief liegenden — jedoch natürlich nur relativen — Temperaturmaximums für sehr möglich. Zsigmondy's artesischer Brunnen endlich (s. o. §. 4) stand offenbar in unterirdischer Verbindung mit Thermalgewässern, die ja in der Umgegend von Budapest gerade keine Seltenheiten sind.

[1] J. D. Cassini de Thury, Sur la température des souterrains de l'observatoire royal, Mém. de l'acad. franç. des sciences, Année 1786. S. 511 ff. — [2] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 3. Band, Leipzig 1827. S. 986 ff.; ibid. 9. Band, 1. Abtheilung, Leipzig 1838. S. 279 ff. — [3] Ibid. 9. Band, 1. Abtheilung, S. 988. — [4] Fourier, Théorie analytique de la chaleur, Paris 1822. S. V. — [5] Quetelet, Mémoire sur les variations diurne et annuelle de la température et en particulier de la température terrestre à différentes profondeurs, Bruxelles 1837. — [6] Poisson, Théorie mathématique de la chaleur, Paris 1835. S. 500 ff. — [7] Bischof, Die Wärmelehre des Inneren unseres Erdkörpers, Leipzig 1837. — [8] Müttrich, Beobachtungen der Erdtemperatur auf den forstlichen meteorologischen Stationen in Preussen, Braunschweig und Elsass-Lothringen, Berlin 1880. — [9] Kupffer, Mittlere Luft- und Bodentemperatur im östlichen Russland, Ann. d. Phys. u. Chem., 15. Band. S. 176 ff. — [10] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, 2. Band, Halle 1833. S. 32. — [11] Boussingault, Sur la profondeur, à laquelle se trouve la couche de température invariable entre les tropiques. Ann. de chim. et de phys., tome LIII. S. 226 ff. — [12] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 32. — [13] Bergman, Physische Erdbeschreibung, deutsch von Röhl, 2. Band, Greifswald 1791. S. 119. — [14] Gmelin, Reisen durch Sibirien von 1733—1743, 1. Band, Göttingen 1751. S. 601 ff. — [15] Pallas, Reisen durch verschiedene Provinzen des russischen Reiches, 3. Band. St. Petersburg 1776. S. 22. — [16] v. Buch, Ueber die Temperatur der Quellen, Abh. d. k. preuss. Akad. d. Wissensch., Phys. Kl., 1825. S. 95. — [17] Peschel-Leypoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1879. S. 188. — [18] Ibid. S. 185 ff. — [19] Hann, Handbuch etc. S. 505. — [20] Hales, Vegetable statics or an account of some statical experiments on the sap in vegetables. London 1727. S. 61. — [21] Mairan, Sur la cause générale du froid en hiver et de la chaleur en été, Mém. de l'acad. franç., Année 1719. S. 124 ff. — [22] Kircher, Mundus subterraneus, in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur, tom. II., Amstelodami 1664. S. 184. — [23] Boerhave, Elementa chemiae, tom. I., Lugduni Batavorum 1732. S. 479. — [24] Boyle, Tractatus de temperie subterranearum regionum, Opera varia, Coloniae Allobrogum 1680, vol. I. F, 2 bis H, 4. — [25] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 2. Band, Zürich 1859. S. 188 ff. — [26] Reich, Beobachtungen der Temperatur des Gesteins in verschiedenen Tiefen in den Gruben des sächsischen Erzgebirges, Freiberg 1834. S. 138 ff. — [27] v. Dechen, Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im deutschen Reiche, Berlin 1873. S. 691. — [28] Huyssen, Ueber die bisherigen Ergebnisse der vom preussischen Staate ausgeführten Tiefbohrungen im norddeutschen Flachland und den bei diesen Arbeiten befolgten Plan, Leopoldina, 1882. S. 192. — [29] Der tiefste artesische Brunnen, Gaea, 5. Jahrgang. S. 497. — [30] Poggendorff, Neue Beobachtungen

über die Temperatur im Inneren der Erde, Ann. d. Phys. u. Chem., 13. Band. S. 363. — [31] B. Studer, Lehrbuch der physischen Geographie und Geologie, Bern 1847. S. 39 ff. — [32] Gehler's phys. Worterb., 3. Band. S. 975. — [33] Ibid. S. 978 ff. — [34] Cordier, Sur la température de l'intérieur de la terre, Mém. de l'acad. franç., Année 1827. S. 473 ff. — [35] Fox, On the temperature of mines, Transact. of the royal geolog. society of Cornwall, Vol. II, Vol. III, Vol. V. — [36] Gehler's Phys. Wörterb., 9. Band, 1. Abtheilung, S. 247. — [37] Ibid. S. 250 ff. — [38] Matteucci, Observations relatives à la température des couches terrestres dans les puits de Monte Massi, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XV. S. 937 ff. — [39] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, Wagner's Geogr. Jahrbuch, 8. Band. S. 25 ff. — [40] Church, The Comstock Lode, its formation and history, New York 1879. — [41] Church, The heat of the Comstock Lode, a paper read before the Am. Inst. of Mining Engineers, 1880, II. S. 7 ff. — [42] Stapff, Ueber Gesteinstemperaturbeobachtungen im Formanschacht, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteorologie, 16. Band. S. 410 ff. — [43] Stapff, Gesteinstemperatur im Formanschacht und Lufttemperatur von Virginia City, ibid. S. 518 ff. — [44] P. Erman, Ueber die mit der Tiefe wachsende Temperatur der Erdschichten nach Beobachtungen im Bohrloche zu Rüdersdorf, Abhandl. d. k. preuss. Akad., Phys. Kl., 1831, S. 269 ff. — [45] Magnus, Geothermometer und damit gemessene Temperatur des Bohrloches zu Rüdersdorf, Ann. d. Phys. u. Chem., 22. Band. S. 146 ff.; ibid. 28. Band. S. 233 ff. — [46] Gehler's phys. Wörterb., 9. Band, 1. Abtheilung, S. 243 ff. — [47] Zöppritz, Der gegenw. Standp. etc. S. 29. — [48] Gehler's phys. Wörterb., 9. Band, 1. Abtheilung, S. 252. — [49] Dunker, Ueber die Benützung tiefer Bohrlöcher zur Ermittelung der Temperatur des Erdkörpers und die deshalb in dem Bohrloche I zu Sperenberg auf Steinsalz angestellten Beobachtungen, Zeitschr. f. d. ges. Naturwissensch., (2) 6. Band. S. 319 ff. — [50] Dunker, Ueber die möglichst fehlerfreie Ermittelung der Wärme des Inneren der Erde und das Gesetz ihrer Zunahme mit der Tiefe, Neues Jahrb. f. Min. u. Geol., 1877. S. 590 ff. — [51] Henrich, Ueber die Temperatur im Bohrloche zu Sperenberg und die daraus gezogenen Schlüsse, ibid. 1876. S. 716 ff.; Ueber die Temperatur im Bohrloche zu Sperenberg, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 9. Band. S. 248 ff. — [52] Henrich-Brauns. Zur Frage über die Temperatur des Erdinneren, Gaea, 14. Jahrgang. S. 490 ff. — [53] J. L. A. Roth, Temperaturbeobachtungen in dem Bohrloche zu Sperenberg unweit Berlin, Ann. d. Phys. u. Chem., 148. Band. S. 168 ff. — [54] Stapff, Studien über die Wärmevertheilung im Gotthard, 1. Theil, Bern 1877. — [55] Rapport trimestriel Nr. 30 du conseil fédéral sur la marche des travaux du St. Gothard, Annexe 14, Berne 1880. — [56] A. Koch, Erdwärme und Tunnelbau im Hochgebirg, Wien 1882. — [57] Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften, 1. Band, Leipzig 1863. S. 97. — [58] A. Heim, Geologische Untersuchungen über das Projekt des Montblanc-Tunnels, Vierteljahrsschr. d. naturf. Gesellsch. zu Zürich, 1882. S. 106 ff. — [59] Gehler's phys. Wörterb., 3. Band. S. 976 ff. — [60] Ibid. 9. Band, 1. Abtheilung. S. 238 ff. — [61] G. F. Parrot, Considérations sur la température du globe terrestre, Mém. de l'acad. imp. des sc. de St. Pétersbourg, (6) tome I. S. 501 ff. — [62] Aepinus, De distributione caloris per tellurem, Petropoli 1761. — [63] Poisson, Théorie etc., S. 428 ff. S. 521 ff. — [64] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 425 ff. — [65] Poggendorff, Zu Poisson's Theorie über die Temperatur des Erdballs, Ann. d. Phys. u. Chem., 39. Band. S. 93 ff. — [66] Lamont, Erklärung der Wärmezunahme im Inneren der Erde nach Herrn Poisson, Jahrb. d. Sternwarte zu München. 1. Band. 1838. — [67] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 23 ff. — [68] D'Archiac, Histoire des progrès de la géologie, tome I., Paris 1847. S. 29. — [69] Mohr, Geschichte der Erde, Bonn 1875. S. 436; ibid. S. 199. — [70] F. Pfaff, Die vulkanischen Erscheinungen, München 1871. S. 166 ff. — [71] Kupffer, Ueber Temperaturzunahme in tiefen Erdschichten, Ann. d. Phys. u. Chem., 32. Band. S. 285 ff. — [72] Zöppritz, Der gegenw. Standp. etc. S. 26. — [73] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's Geogr. Jahrbuch, 9. Band. S. 7. — [74] W. Thomson, De motu caloris per terrae corpus, Glasgow 1846. — [75] W. Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, 1. Band, 2. Theil, Braunschweig 1874. S. 439 ff. — [76] Hempel, Ueber den Wärmezustand der Erde, Arch. d. Math. u. Phys., 65. Band. S. 337 ff. — [77] G. Bischof, Gesetz der Temperaturzunahme nach dem Erdinneren, Ann. d. Phys. u. Chem., 35. Band. S. 209.

Kapitel II.

Der innere Zustand der Erde.

§. 1. **Aeltere Hypothesen.** Spekulationen über die Beschaffenheit der für den Menschen unzugänglichen inneren Partieen des Erdkörpers scheinen für das Alterthum nichts Anziehendes gehabt zu haben, doch findet sich wohl die eine oder andere dahin zielende Aeusserung, und namentlich kann mit einigem Rechte die zählebige Lehre vom Centralfeuer auf den „Phaedon" Platon's*) zurückgeführt werden, wobei natürlich nicht an das von Philolaos in den Mittelpunkt des Kosmos versetzte Centralfeuer [1] gedacht werden darf. Die Kirchenväter bedurften zu Zwecken, die keinen naturwissenschaftlichen Charakter trugen, eines im Inneren der Erde kochenden (Höllen-) Feuers; Zeugniss hiefür legen Tertullian, Augustin, Minucius Felix, Isidorus Hispalensis u. a. ab [2]. Die aristotelische und scholastische Schule hatte, wenigstens soweit sie ihren physikalischen Grundsätzen getreu blieb, nichts mit dieser Lehre zu thun, denn da zwischen die Sphären des Feuers und der Erde jene des Wassers und der Luft eingeschaltet waren, so konnte unmöglich im Inneren der Erde ein Feuer brennen. Diese Theorie der vier Elemente reicht bekanntlich bis tief in die Periode der Renaissance hinein, obwohl die besseren Köpfe längst deren Unhaltbarkeit eingesehen hatten. Unvermögend, etwas Besseres an deren Stelle zu setzen, verfiel man skeptischer Resignation, wie z. B. Giordano Bruno im achten seiner Gespräche dem Fra Castoro die Frage, welchen Urstoff man sich denn eigentlich im Centrum der Erde zu denken habe, in folgender Weise beantwortet [3]: „Wenn der Mittelpunkt ausschliesslich demjenigen Elemente einzuräumen ist, welches das schnellste und allerdurchdringlichste ist, dann gebührt der erste Platz daselbst der Luft, der nächste daran dem Wasser, und der dritte der Erde. Wenn hingegen die Stelle im Mittelpunkte dem schwersten, dichtesten und zusammenhängendsten zukommt, dann gebührt die erste Stelle dem Wasser, die zweite der Luft, die dritte der trockenen Erde. Nehmen wir hingegen die Erde mit dem Wasser verbunden, dann gebührt die erste Stelle der Erde, die zweite dem Wasser allein, die dritte der Luft, so dass, wenn die Elemente einzeln und in der Trennung genommen werden, nach verschiedenen Hinsichten die Stelle im Mittelpunkte verschiedenen Elementen müsste eingeräumt werden."

Das grosse Verdienst, den Sitz jener Erhitzung, deren Existenz sich uns durch die Vulkanausbrüche fühlbar macht, aus den centralen Partieen der Erde heraus und weit näher an deren Oberfläche verlegt zu haben, kommt unstreitbar Gassendi zu [4]. Die Frage, wie es weiter drinnen im Erdkörper bestellt sei, wurde aber damit wieder eine offene. Leibniz stellte [5] die Ansicht auf, dass unsere Erde

---

*) Es wird daselbst von den durch die Vulkane emporgeschleuderten „ἀποσ[illegible]α" des Feuerflusses (Pyriphlegethon) gesprochen.

ein im Schmelzzustande befindlicher feurig-flüssiger Klumpen gewesen und allmählig in einen „status consistentior“ übergegangen sei, und Thomson hat versucht, mittelst der im letzten Paragraphen des vorigen Kapitels entwickelten Formeln die ungefähre Epoche dieser Metamorphose festzustellen. Sein — von anderer Seite allerdings befehdetes — Resultat geht dahin [6], dass die Erstarrung der Erde vor mehr als 20000000, aber vor weniger als 40000000 Jahren begonnen haben müsse. Während des XVIII. Jahrhunderts erhielt sich ziemlich allgemein die Ansicht, dass nur die äusseren Schichten erkaltet und erstarrt, die tiefer gelegenen aber noch immer gluthflüssig seien; es erhellt diess z. B. sehr klar aus dem zwischen Wiedeburg und v. Justi geführten Streite über die Entstehung der Erde [7]. Auf gewisse Hypothesen von Leslie und Franklin werden wir weiter unten zu sprechen kommen, und nur beiläufig thun wir Halley's sonderbarer Idee Erwähnung, welcher zufolge [8] die Erde hohl wäre und in ihrem Inneren einen Planeten beherbergte, dessen Bewegung die Variationen der magnetischen Elemente bewirkte. A. v. Humboldt versichert [9], von einem gewissen Symmes allen Ernstes zu einer Expedition nach dieser unterirdischen Hohlkugel aufgefordert worden zu sein.

§. 2. **Gründe für die Starrheit der Erde.** Nachdem in der zweiten Hälfte des verwichenen Jahrhunderts die ersten Versuche, das spezifische Gewicht der Erde zu bestimmen, so viel ausser Zweifel gesetzt hatten, dass die Dichtigkeit nach Innen zunehmen müsse, bildete sich ganz naturgemäss die Anschauung aus, der Erdkern müsse fest und starr sein. Breislak behauptete im Hinblick auf die zu seiner Zeit maassgebenden Ansichten über das Wesen des Erdmagnetismus, der Hauptbestandtheil unseres Planeten sei Magneteisenstein [10]; man kannte dessen Eigengewicht = 7, und da dasjenige des Gesammtkörpers ungefähr auf 5, dasjenige der oberflächlichen Schichten aber nur auf 2,5 geschätzt wurde, schien der Gedanke nicht so fremdartig, als er uns heute vorkommt. Das Hirngespinnst der Gebrüder Marschall v. Bieberstein, welche [11] die Erde für ein Konglomerat aus Meteorsteinen ausgaben, konnte sich nur dadurch einige Zeit lang fristen, dass ein so geistvoller Astronom, wie v. Zach unstreitig war, sich für dessen Ausbildung interessirte [12]. Die Argumente, welche sich aus solchen Theorien für die Starrheit des Erdkörpers herleiten liessen, konnten ersichtlich nicht von grossem Gewichte sein, und ebensowenig bedeutete Poisson's Negirung des glühendflüssigen Zustandes, von der gegen Schluss des vorigen Kapitels die Rede war. Von ganz anderem und zwar ungleich wissenschaftlicherem Gepräge sind jene Untersuchungen, welche in den vierziger Jahren von dem Begründer der geophysikalischen Schule Englands, von Hopkins, begonnen wurden und den Anstoss zu einer auch heute noch lange nicht abgeschlossenen Diskussion lieferten [13]. Hopkins knüpfte an die Präcessionserscheinungen an und suchte zu zeigen, dass, wenn die Erde flüssig oder selbst nur bis zu einem gewissen Grade plastisch wäre, diese Erscheinungen nach Art und Maass anders auffallen müssten, als wir sie thatsächlich wahrnehmen. Die Dicke der absolut starren Kruste betrüge allermindestens $^1/_5$ bis $^1/_4$ des Erdhalbmessers. Gegen

die rechnerische Grundlage, von welcher aus diese Ergebnisse erzielt wurden, ist allerdings Einsprache erhoben worden. G. H. Darwin wies nach [14], dass sein Vorgänger Irrthümer begangen habe, indem nicht die Präcession, sondern blos die Nutation zum Beweise herangezogen werden dürfe, und Delaunay suchte Hopkins durch das Experiment zu widerlegen. Letzterer hatte nämlich angenommen, dass eine wie immer beschaffene Flüssigkeit, in eine rotirende Hohlkugel eingeschlossen, an der Axendrehung derselben gar keinen Antheil nehme, während Delaunay gefunden zu haben glaubte, dass diess doch eintrete, sobald nur die Geschwindigkeit der Umdrehung gehörig sich steigere [15]. Die von Folie gemachte Entdeckung einer täglichen Präcession und Nutation [16] vermag vielleicht auch nach dieser Richtung hin sich nutzbar zu erweisen. Indessen kommen nicht lediglich die Phänomene der Erdaxenschwankung in Betracht, vielmehr hat eine Reihe von Forschern angelsächsischer Abstammung auch aus den Erscheinungen der Gezeiten den Nachweis für die Thatsache herzuleiten sich bestrebt, dass unserem Wohnkörper als Ganzem ein sehr hoher Grad von Unnachgiebigkeit zuerkannt werden müsse, und diese Beweisführung konnte durch Delaunay's Betrachtungen ebensowenig als durch diejenigen Mallet's, welche sich auch wesentlich gegen Hopkins richteten [17], erschüttert werden.

Wie in dem von Ebbe und Fluth handelnden sechsten Kapitel der sechsten Abtheilung des Näheren dargelegt werden wird, sind die durch die anziehende Kraft von Sonne und Mond zu Stande gekommenen Fluthhöhen nicht absolut zu nehmen, vielmehr stellen sie sich dar als Differenz zwischen jenen Höhen, zu welchen die eine absolut starre Kugel bedeckende Flüssigkeit ansteigen würde, und jenen Deformationen des eben in Wirklichkeit nicht ganz starren festen Körpers, die in der genannten Attraktion ihren Grund finden. G. H. Darwin hat diese Beziehungen genau durch den Kalkul geprüft [18], nachdem W. Thomson [19] die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluss der Gestirne auf die wissenschaftliche Tagesordnung gesetzt hatte. Die näheren Umstände sollen uns erst später beschäftigen, für jetzt konstatiren wir als Schlussresultat nur dieses, dass beide Forscher den Starrheitsgrad der Erde sehr hoch und grösser veranschlagen zu müssen glauben, als bei den meisten irdischen Stoffen. Darwin glaubte für diese seine Auffassung neuerdings auch durch die Ueberlegung neue Gründe zu gewinnen, dass sonst der Druck der Kontinentalmassen gegenüber den Meeren Spannungen und Störungen in der Erdkruste hervorrufen müsse [20]. Einen abschliessenden Charakter diesen Feststellungen beizulegen, wäre allerdings verfehlt; W. Thomson selbst erwartet Gewissheit darüber erst von einer ziemlich fernen Zukunft. Die Grösse der Differentialfluth tritt, wie sich theoretisch darthun lässt, am kräftigsten bei der vierzehntägigen Mondfluth hervor, während die Beträge der ebenfalls vorhandenen Fluth von halbjähriger Periode etwa die Hälfte der von jener ersten gelieferten Höhen erreichen würden. Hätte man an geeigneten Orten — wozu gerade unsere am besten ausgestatteten Häfen nicht zu zählen sind — selbstregistrirende Fluthmesser aufgestellt, so würde sich aus deren einen hinreichend langen Zeitraum umfassenden Aufzeichnungen nach der Methode der kleinsten Quadrate die relative Grösse jeder einzelnen

Fluthgattung erschliessen lassen. Allerdings ist die halbjährige Tide durch Regenfall, schmelzendes Eis, ungleichartige Vertheilung von Wasser und Land vielfach gestört, doch würden die durch jene Nebeneinflüsse hereingebrachten sekundären Perioden wohl wieder zu eliminiren sein, wenn die Beobachtungsstationen passend auf dem Erdball — etwa auf Island, Teneriffa, den Kap-Verden, Ascension und St. Helena — vertheilt wären. Nur auf diesem Wege dürfte sich dereinst genau eruiren lassen, welches die wahre Grösse des elastischen Nachgebens der Erde gegen die Fluthwirkung von Mond und Sonne ist. Zu den eifrigen Befürwortern einer ungeheuer grossen Starrheit gehört auch der Amerikaner Barnard [21], der die Fluthphänomene für eine Stahlkugel von den Dimensionen der Erde studirt und daraus den Schluss gezogen haben will, dass jene selbst noch weniger Elasticität als Stahl oder Glas besitzen könne.

§. 3. **Gründe für und wider die Elasticität des Erdinneren.** Allerdings ist den Anhängern der Starrheitshypothese auch von Seiten anderer Fachmänner widersprochen worden, als blos von Seiten jener, deren wir im vorigen Paragraphen zu erwähnen hatten. Hennessy, der die Geophysiker England's in Rigidisten und Viscidisten eintheilt, macht derartige Gegengründe geltend [22], ebenso Airy [23], der sich an die Kant-Laplace'sche Theorie hält und aus dieser eine mehr und mehr gegen das Centrum hin zunehmende Erhitzung und eine dieser entsprechende Dissociation der inneren Erdbestandtheile folgert. Die principielle Grundlage, auf welche Thomson und Darwin sich stützen, erscheint keineswegs als ganz sicher fundirt, denn wir sind, wie Hennessy hervorhebt, nicht ohne weiteres berechtigt, die zur Berechnung der Gezeiten einer unzusammendrückbaren Flüssigkeit dienenden und für diesen Fall erprobten Methoden sofort auf eine kompressible Flüssigkeit von nach innen zu wachsender Dichtigkeit zu übertragen, wie sie vielleicht das Innere unseres Wohnkörpers erfüllt. Auch Zöppritz bemerkt hiezu [24]: „Immerhin ist es bemerkenswerth, dass sich nirgendwo mit Entschiedenheit Fluthen von längerer Periode ergeben haben. Es gewinnt dadurch die Vorstellung eines flüssigen Erdinneren wieder an Bedeutung, womit nothwendig der Schluss verknüpft ist, dass die Erdrinde sich mit den Körperfluthen des Inneren periodisch auf- und abbewegt." Ein weiteres grundsätzliches Bedenken macht Werner Siemens geltend [25], indem er an W. Thomson's übrigens korrekten Betrachtungen tadelt, dass unvermittelt vom Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand gesprochen werde, während doch die Natur nur einen sehr langsam und allmählig sich vollziehenden Fortschritt vom dünnflüssigen zum zähflüssigen Aggregatzustande kenne, bei welchem der Druck eine Rolle spiele, wogegen derselbe unzureichend sei, eine zähe Flüssigkeit vollends zu verfestigen. Diese Thatsache, welche Siemens seinen Beobachtungen an Glasflüssen entnahm, veranlasst uns, die Untersuchung auf ein ganz anderes Gebiet hinüberzuleiten.

W. Thomson behauptet nämlich, schon um desswillen könne der Zustand der Erde kein anderer als der absolut starre sein, weil, wenn die Erstarrung derselben im Sinne der Nebularhypothese aussen begonnen und sich nach und nach in's Innere fortgesetzt hätte, die

erstarrten und damit spezifisch schwerer gewordenen Massen in dem feurigflüssigen Brei hätten untersinken müssen. Abgesehen davon, dass ja doch, wovon weiter unten ein Mehreres, die Grenzfläche zwischen Festem und Flüssigem durchaus keine fixe sein könnte, zwischen beiden vielmehr eine Schicht von weder eigentlich fester, noch auch eigentlich flüssiger Beschaffenheit zwischen inne liegen müsste, ist die Ansicht des schottischen Physikers neuerdings auch durch schlagende direkte Experimente entkräftet worden. Wir haben, als der lunare Vulkanismus besprochen ward (Erste Abtheilung, Kap. III, §. 11), bereits der Versuche von Mallet und von Nies-Winkelmann [26] Erwähnung gethan, und diesen können wir nunmehr diejenigen von Siemens (s. o.) anreihen, aus welchen zu ersehen ist, dass mit dem weiteren Fortschreiten der Abkühlung geschmolzener Glasmassen die Zusammenziehung immer geringer wird, bis dann endlich den Uebergang in den eigentlich festen Zustand sogar eine geringe Ausdehnung begleitet. Zöppritz führt noch Versuche an, welche Whitley mit Messing, Gusseisen, Basalt, Fisher mit fester Lava auf geschmolzener, Millar wiederum mit Gusseisen anstellten, und die sämmtlich dahin gedeutet werden zu müssen scheinen, dass bei'm Erstarren zuerst eine kleine Volumvergrösserung eintritt, die dann bei weiterem Fortgange der Abkühlung allerdings wieder schwindet [27]. Jenen Zwischenzustand zwischen Flüssig und Fest, den Thomson übersah, und dessen Vorhandensein betont zu haben Siemens' Verdienst ist, erkannte neuerdings auch Wrightson bei Kugeln von gegossenem Eisen [28]. Von der gewöhnlichen vulkanischen Lava hat schon Escher v. d. Linth bei seiner Vesuv-Besteigung etwas Aehnliches bemerkt; „oft warfen wir," sagt er [29], „grosse Schlackenstücke auf die Lava; sie machten keinen merkbaren Eindruck und prallten eher zurück."

Hält man alle diese Momente zusammen, so scheint doch eine weit überwiegende Wahrscheinlichkeit dafür zu sprechen, dass die Erde ihrem weitaus grössten Theile nach nicht starr, sondern, wo nicht eigentlich flüssig, doch mit plastischer Materie erfüllt zu denken sei. Selbst Reyer, der auf Grund seiner eingehenden Individualstudien über vulkanisches Gestein ein flüssiges Erdinnere verneint, ist diesem unserem vorläufigen Ergebniss nicht entgegen, wenn er von dem in der Tiefe vorhandenen Stoffe sagt [30]: „Die Hauptmasse ist verfestigt, die durchtränkenden Lösungen werden, je tiefer, um so zähflüssiger. Mithin können wir behaupten, dass das ganze Magma mit zunehmendem Drucke an Beweglichkeit verliert, sich also dem starren Zustande nähert." Diesem in's Ungemessene wachsenden Drucke müssen wir allerdings noch eine schärfere Beachtung angedeihen lassen, als es bisher geschah; mit ihm wächst aber auch, wie das vorige Kapitel uns lehrte, die Temperatur. Letztere sucht alle Stoffe bei ihrem Steigen zum Schmelzen zu bringen, die allseitig wirkende Pression widersetzt sich dieser Verwandlung, und es ergeben sich solchergestalt Verhältnisse, zu deren vollständiger Beurtheilung uns die Hülfsmittel abgehen; lässt sich doch sogar mit diesen, die ausschliesslich im Laboratorium gewonnen wurden, keine Antwort auf die Frage geben, wo der Punkt liegt, jenseits dessen alle Körper nur noch in geschmolzenem Zustande vorkommen können [31]. Ehe wir auf die beregten Punkte weiter eingehen, stellen wir noch einmal in Kürze unsere bisherigen

Errungenschaften zusammen. Ihnen zufolge ist blos die Erdkruste starr und auch diese nicht im strengsten Wortsinne, also nicht aller und jeder Elasticität baar; daran schliesst sich nach innen zähflüssige Materie, deren Verfestigung nach unten fortschreitet, jedoch nicht über jede angebbare Grenze hinaus. Laplace legte in der „Mécanique céleste" ein von Legendre [32] vorgeschlagenes Gesetz der Dichtigkeitszunahme zu Grunde, wonach die einer bestimmten Druckzunahme entsprechende Kompression um so mehr sich verringert, je grösser die bereits erreichte Dichte ist; so käme auf die dem Erdmittelpunkte zuzusprechende Dichte ungefähr diejenige des Silbers oder Bleis. Wie aber, so fragen wir, ist es möglich, dass mit den früheren Ansichten auch dieses Ergebniss vereinigt wurde*)?

§. 4. **Die Auffassung des Erdinneren als einer gasförmigen Masse.** Wie es gerade in der Geophysik — man denke nur an die Lehre von den säkulären Oscillationen und von der Gletscherbewegung — nicht selten ergeht, so ereignete es sich auch hier: Eine mehr gelegentlich formulirte und von hervorragenden Autoritäten nicht allein zurückgewiesene, sondern verspottete Lehrmeinung gewann nach Jahrzehnten neues Leben, freilich auch in einer gegen früher wesentlich veränderten und verbesserten Form. Hören wir z. B. A. v. Humboldt [34]: „Man hat berechnet, in welchen Tiefen tropfbar flüssige, ja selbst luftförmige Stoffe durch den Druck ihrer auf einander gelagerten Schichten die Dichtigkeit der Platina oder selbst des Iridiums übertreffen würden; und um die innerhalb sehr enger Grenzen bekannte Abplattung mit der Annahme einer einfachen, bis in's Unendliche kompressibeln Substanz in Einklang zu bringen, hat der scharfsinnige Leslie den Kern der Erde als eine Hohlkugel beschrieben, die mit sogenannten ‚unwägbaren Stoffen von ungeheurer Repulsivkraft' erfüllt wäre. Diese gewagten und willkürlichen Vermuthungen haben in ganz unwissenschaftlichen Kreisen bald noch phantasiereichere Träume hervorgerufen." Noch vor Leslie hat übrigens schon Franklin [35] sich für diese Idee erklärt; nach ihm bestünde der Erdkern aus einer (elastischen) Flüssigkeit, dichter als jeder feste Körper, und auf ihr schwämme die eigentliche Erdrinde. Muncke, der begreiflicherweise von dieser Auffassung wenig erbaut und ungehalten darüber ist, dass Chladni sich ihr zugeneigt habe, kann gleichwohl nicht umhin, zuzu-

*) Die von Roche [33] aufgestellte Hypothese würde sich mit diesen Thatsachen ganz gut vertragen, allein ihr Urheber hat blos auf die Abplattung, sowie auf die Erscheinungen der Präcession und Nutation Bedacht genommen, nicht aber auf das Fluthphänomen, welches (s. o.) in letzter Instanz eben nicht für, sondern gegen die Festigkeit der Erde spricht. Nach Roche besteht letztere der Hauptsache nach aus einem homogenen, starren Kerne, der nur gegen den Mittelpunkt hin eine geringe Vermehrung der Dichte aufweist und durchschnittlich etwa das spezifische Gewicht 7 hat, sodann aber aus einer den Kern umlagernden Aussenhülle vom spezifischen Gewichte 3, die man sich zum Theile auch aus Flüssigkeiten bestehend denken könnte, deren Dicke aber noch nicht den sechsten Theil des Erdhalbmessers ausmachen soll. Zur Aufstellung dieser — an Breislak (§. 2) gemahnenden — Hypothese veranlasste die Erwägung, dass die neueren Werthe für die Erdabplattung $\left(\frac{1}{289}\right)$ mit einer durchaus flüssigen Erde nicht in Einklang zu bringen seien.

gestehen, dass ein Ueberschlag mit Zugrundelegung dessen in * Mariotte-schen Gesetzes nicht dagegen spreche, indem für komprimirte atmosphärische Luft schon in der Tiefe von 11 Meilen dicht genug sei, um die schwersten uns bekannten Metalle zu tragen [36]. Präciser drückte sich ein berühmter philosophischer Physiker unseres Jahrhunderts, Herbert Spencer [37], aus, indem er die hohle Erdkugel mit gespannten Dämpfen erfüllt sein liess. Dass auch er wenig Anerkennung fand, können wir weder als unbegreiflich, noch auch als tadelnswerth ansehen, denn mit den herrschenden physikalischen Begriffen erschienen solche Abweichungen vom Hergebrachten zu wenig verträglich.

Namentlich unter dem Einflusse der mechanischen Wärmetheorie haben sich seither aber diese Begriffe selbst modificirt und geklärt, die Arbeiten von Cailletet, van der Waals u. A. haben uns die Ueberzeugung beigebracht, dass die bislang gang und gäbe gewesenen Definitionen für Aggregat- und Dissociationszustände nur innerhalb gewisser Grenzen volle Gültigkeit beanspruchen können. Es handelte sich nun darum, die experimentell aus naheliegenden Ursachen unerforschbaren Eigenschaften solcher Zustände wenigstens der Rechnung zu unterstellen, und diesem Probleme hat sich denn auch in A. Ritter's Person ein Physiker von nicht gewöhnlichem Scharfsinne gewidmet. Seine äusserst umfassend angelegte Abhandlung zu welcher uns der atmosphärologische Theil unseres Werkes wieder zurückführen wird, zieht sich durch mehrere Bände der Poggendorff'schen „Annalen“ hindurch [38]. Durch direkte Berechnung der Höhe unserer irdischen Atmosphäre kommt er zu dem Schlusse [39], dass Sauerstoff wie Stickstoff bei ungehindertem Emporsteigen schliesslich in den von ihm — im Hinblick auf das bekannte Kondensations-Experiment Thilorier's — als Schneewolken-Aggregatzustand bezeichneten Zustand übergehen müssten, hierauf prüft er [40] die Luftverhältnisse in einem in's Innere der Erde hineinreichenden Schachte und entscheidet sich dafür [41], dass, wenn statt der Luft Wasserdampf in dieser Röhre befindlich wäre, die untersten Schichten in Knallgas, die obersten einfach in überhitzten Wasserdampf sich umsetzen würden, während das Mittelgebiet oder Dissociationsgebiet von einem Gemische beider erfüllt zu denken wäre. Weiter studirt Ritter die Vorgänge in einer isentropischen Gaskugel, innerhalb deren die Temperatur, wenn man sich vom Mittelpunkte entfernt, genau nach demselben Gesetze abnimmt, nach welchem die Temperatur einer emporsteigenden Luftquantität durch deren Ausdehnung sich vermindert, was — nebenbei bemerkt — auch zur Aufstellung numerischer Werthe für die chronische Verkleinerung des Sonnendurchmessers führt. Dass dabei das Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac als maassgebend angesehen wird, während man doch weiss, dass dasselbe das wahre Verhalten der Gase nur in einer ersten Annäherung darstellt*), liegt in der Natur der Sache und macht nur die numerischen, nicht aber auch die prin-

*) Die Erkenntniss, dass diesem wichtigen Theoreme der Aerostatik nur eine eingeschränkte Bedeutung zuzuerkennen sei, hat sich neuerdings allseitig aufgedrängt und u. a. die Reformvorschläge von M. Kuhn [42] und Biehringer [43] in's Leben gerufen.

Errungenschan Resultate unsicher. Man darf auch nicht übersehen, dass die Zuverlässigkeit fraglichen Gesetzes doch erst dann in's Wanken zu gerathen beginnt, wenn die Gesetze sich der Grenze ihrer Verflüssigung nähern, und, wie Andrews fand, können alle uns bekannten Körper, die sogenannten permanenten Gase so wenig wie Alkohol und Wasser ausgenommen, so lange nur als Gase existiren, als ihre Temperatur die mit dem Namen kritischer Punkt belegte Grenze übersteigt. Derselbe liegt für Wasser bei 580°, für schwerer sied- und schmelzbare Körper aber weit höher. Da nun, wie sich gleich zeigen wird, die Untersuchungen Ritter's sehr hohe Wärmegrade wahrscheinlich machen, so darf die rechnerisch nicht wohl zu umgehende Verwendung des Mariotte'schen Gesetzes auch aus einem mehr sachlichen Gesichtspunkte gebilligt werden. Wir weisen übrigens neben Ritter's Originalarbeit auch nachdrücklich auf die gelungene Popularisirung des dort eingehaltenen Gedankenganges hin, welche man Zöppritz [44] verdankt, und auf welche auch wir uns hier zu beziehen keinen Anstand nehmen.

Die Gaskugel, welche wir in's Auge fassten, befindet sich im indifferenten Gleichgewichte; schreitet irgend ein Gewichtstheil radial fort und gelangt auf diesem seinem Wege in Gegenden, wo andere Verhältnisse bezüglich der Dichte, des Druckes und der Temperatur herrschen, so fügt er sich in diese fremden Verhältnisse ein, ohne dass eine Gleichgewichtsstörung entstünde. Wenn die Kugel durch Strahlung Wärme nach aussen abgiebt, so entsteht eine Kontraktion im Inneren, und mit ihr ist eine Erhöhung der Temperatur verbunden, durch welche der externe Wärmeverlust in etwa fünffachem Maasse wieder ausgeglichen wird. Die Rechnung zeigt, dass die Dichte im Mittelpunkt den Werth 143 annimmt, dass dortselbst ein Druck von nicht weniger als 3 Millionen Atmosphären herrscht, und dass, worauf oben schon angespielt ward, die Temperatur auf 100000° ansteigt. Diese Druckverhältnisse sind allerdings ungeheuer, aber eben deshalb doch eigentlich auch wahrscheinlicher, als es die aus der Thomson-schen Hypothese hergeleiteten sind. Letztere kennen wir genau durch eine interessante mathematische Untersuchung von Seydler [45]. Dieser entfliesst nämlich das Resultat, dass für eine Stahlkugel von der Grösse unserer Erde der auf einem im Kugelcentrum befindlichen Quadratcentimeter lastende Druck 2660 kg betrage. Der wirkliche Werth der Centralwärme dürfte allerdings dem errechneten bedeutend nachstehen, immerhin jedoch $> 20000^{\circ}$ sein. Bei solchen Hitzegraden darf wohl angenommen werden, dass jedes einzelne Gas sich in seinem überkritischen Zustande befinde, in einem Zustande also, wo es auch durch den denkbar stärksten Druck nicht mehr flüssig gemacht werden kann. Ueber die physikalischen Eigenschaften eines Gases in so extremen Umständen sind wir begreiflicherweise nur sehr wenig auszusagen im Stande, doch ist nicht zu zweifeln, dass ihre Fundamentaleigenschaft, beliebig gestaltete Hohlräume lückenlos ausfüllen zu können, ihnen gewahrt bleibe. Der ganze Energievorrath des Erdinneren ist nicht aktuelle, sondern einzig und allein potentielle Energie.

Zöppritz lässt es (a. a. O.) bei seiner Zustimmung zu den wesentlichsten Resultaten der Ritter'schen Untersuchung nicht bewenden, er führt uns vielmehr von den eigentlich centralen Partieen, auf welche jene ersteren ausschliesslich Bezug nehmen, auch wieder

zur Oberfläche zurück. Bei Zurücklegung dieses Weges sehen wir uns im Geiste nach und nach in Gebieten von den allerverschiedensten Elementarzuständen. Eine Zeit lang begleitet uns das überkritische Gas, welches wir uns wohl als ein ideelles und von den stofflichen Verschiedenheiten der uns bekannten Körperwelt völlig emancipirtes zu denken haben. Mit dem Nachlassen der Hitze beginnen diese Verschiedenheiten wieder in ihr Recht zu treten, es bilden sich Uebergangsschichten, in deren Bereiche erst gewisse und endlich sämmtliche Elemente wieder ihr uns geläufiges Sonderdasein führen. Ist weiterhin die Temperatur für diese Urstoffe unter den kritischen Punkt herabgesunken, so macht sich der bisher paralysirte Druck geltend, und wir durchwandern einen tropfbar flüssigen Kugelring. Je näher der Oberfläche, um so mehr sehen wir diese Flüssigkeit an ihrer Reinheit einbüssen, sie wird trüb, zähe, mit Festkörpern durchsetzt, und ohne feste Trennungsschicht geht sie in die feste Erdkruste über, deren Aussenseite der Mensch bewohnt. Hält man sich an diese hier mit kurzen Strichen gezeichnete Skizze von der Anordnung der inneren Erdbestandtheile, so werden manche Schwierigkeiten aus dem Wege geräumt, die vordem unüberwindlich erscheinen mussten; diese Annahme einer mit überhitzten Gasen erfüllten Hohlkugel beseitigt insbesondere auch eine Unzukömmlichkeit, welche die jetzt herrschende Lehre von der Gebirgsbildung durch Faltung unangenehm empfand. Berechnete man nämlich die Differenz in der Kontraktion der äusseren und inneren Schichten, so ergab sich, wenn mit einem festen Erdkerne gerechnet werden musste, eine den Thatsachen widersprechende Zahl, allein nun ist es erlaubt, diese Inkonvenienz einfach durch die Wahl eines geeigneten Ausdehnungskoefficienten der Erdmasse zu heben; jeder beliebige ist verträglich mit einem gasförmigen Erdinneren. Unsere Uebersicht über die zwischen dieser Gaskugel und der dünnen Kruste mitten inne liegenden Schichten liefert uns aber weiter die Ueberzeugung, dass allein deswegen an keiner der umlaufenden plutonischen Theorieen Abänderungen anzubringen sind; der folgende Paragraph wird diese Ueberzeugung befestigen*).

Fig. 61.



§. 5. **Das Magma und die Ryakohypse.** Die früher maassgebenden Anschauungen über einen die Erdhöhlung erfüllenden Gluthbrei sind im Vorstehenden zwar beträchtlich eingeschränkt, sonst aber durchaus nicht über den Haufen geworfen worden. Wir können nach wie vor annehmen, dass wir, wäre uns die Möglichkeit eines tieferen Eindringens in die Erde geboten, in verhältnissmässig nicht einmal sehr bedeutender Tiefe auf jene fluktuirende Schicht geschmolzener Massen stossen würden, für welche neuerdings der ganz bezeichnende

---

*) In Fig. 61, welche wohl an sich verständlich ist, versuchten wir ein schematisches Bild von den Zustandsänderungen innerhalb der Erde zu entwerfen.

Name Magma (von μίγνυμι, ich mische) aufgekommen ist. Von unserem Standpunkte bis zu jenem Punkte, wo das Magma seinen Anfang nimmt, rechnen wir die Dicke der Erdkruste; diese Strecke numerisch anzugeben, hat allerdings erhebliche Schwierigkeiten. Ami Boué schätzt ihre Länge [46] auf 100 000 m, E. de Beaumont auf 40 000 m bis 50 000 m, F. Pfaff [47] schliesst aus seinen geologischen Versuchen auf einen zwischen 80 000 m und 90 000 m liegenden Werth. Aus Henrich's Formel (Kap. I, §. 4) würde folgen, dass in einer Tiefe von 84 000 m bereits eine Temperatur von 2500° herrscht, durch welche alle uns bekannten irdischen Materialien in den gluthflüssigen Zustand übergeführt werden müssten. Pilar nimmt für die Dicke der festen Erdschale $^1/_{50}$ bis $^1/_{40}$ des Radius, im Maximum aber 12 Myriameter an [48] (s. u. §. 6).

Natürlich ist nicht anzunehmen — diess deuteten wir schon oben an —, dass unmittelbar an die untere Begrenzungsfläche der Erdkruste die Oberfläche des internen Gluthmeeres sich anschliesse, vielmehr wird ein Gemenge aus wirklichem Magma zähflüssigster Beschaffenheit und aus schwer schmelzbaren krystallinischen Massen sich zwischen beiden einlagern*). Diese Zwischenschicht schützt zugleich die untere Seite der Rinde vor schnellem Abschmelzen. Man mag sich das Verhältniss zwischen dem oberen Festen und dem unteren Flüssigen im Grossen und Ganzen ähnlich denken, wie zwischen der einen gefrorenen See überlagernden Eisdecke und dem darunter befindlichen Wasser. Macht man Löcher in erstere, so steigt gleichwohl das Wasser nicht bis zur Aussenseite des Eises empor, weil es spezifisch schwerer denn letzteres ist; ebenso wird auch das schwerere Magma, wenn sich über ihm eine Spalte öffnet, nicht die ganze Länge derselben ausfüllen können. Da wir nähere Details nicht kennen, so haben wir wohl ein Recht anzunehmen, dass die Fähigkeit des Magma's, in der Erdkruste emporzudringen, eine Fähigkeit also, die für die Erkenntniss der vulkanischen Vorgänge von hoher Bedeutung ist, durch das Verhältniss der Dichten von Magma und Kruste an einem bestimmten Orte bedingt sein wird. Mathematisch exakt ist diese Annahme freilich nicht, wohl aber ist sie die zur Zeit bestmögliche.

Setzen wir diess voraus, so ist evident, dass jene Punkte, zu welchen an den verschiedenen Stellen das Magma hinaufreicht, nicht gleichweit vom Erdmittelpunkt entfernt sein können. Diess erkannte zuerst Belli [50], der die Möglichkeit eines Einbrechens der Kruste bestritt; schärfer präcisirt hat die Anschauungen seines ihm offenbar

*) Bei Gelegenheit der in Kap. IV, §. 2 der vorigen Abtheilung erwähnten Polemik, welche Hill und Fisher gegen einander über die Möglichkeit einer Veränderung in der Lage der Erdaxe führten, äussert der Zweitgenannte auch [49], es sei durchaus nicht unbedingt erforderlich, das ganze Erdinnere als flüssig vorauszusetzen, zwischen beiden Aggregatzuständen bilde die Brücke jener der unvollständigen Flüssigkeit („The only conclusion at which we can arrive is this, if the augmentation of temperature with that of the depth be so rapid that its effect in resisting the tendency to solidify by greater than that of the increase of pressure to promote it, there will be the greatest tendency to become imperfectly fluid, and afterwards to solidify, in the superficial portions of the mass ...") Es wird sich später, bei den Gletschererscheinungen, noch Gelegenheit ergeben, auf solche unvollkommen flüssige oder zähflüssige Massen zurückzukommen, deren mechanisches Verhalten, ebenso wie dasjenige gepulverter Körper, erst in jüngster Zeit (durch Boussinesq u. a.) dem Studium zu unterwerfen begonnen wurde.

nicht bekannt gewordenen italienischen Vorgängers der kroatische Geologe Pilar, an dessen Erörterungen über das Magma wir uns hier theilweise anschliessen. Derselbe denkt sich alle Punkte, welche der Oberfläche des Magma-Gürtels angehören, durch eine Fläche mit einander verbunden, für welche er den Namen der Ryakohypse (ῥύαξ, die Lava, ὕψος die Höhe) in Vorschlag bringt [51]. Fig. 62 repräsentirt durch den schwarz angelegten Kreis das Magma; die Ryakohypse nimmt die Punkte A, B, C, D, E, F in sich auf. Die Erhebung x der Ryakohypse über das eigentliche Niveau des Magma's wird, wenn a die Dicke der Erdrinde, d deren spezifisches Gewicht, D endlich das spezifische Gewicht des Gluthbrei's bezeichnet, mittelst der Gleichung $D \,.\, x = d \,.\, a$ berechnet, woraus für x und den Abstand des Magma's von der Erdoberfläche (= x') die Werthe

Fig. 62.



$$x = \frac{a \,.\, d}{D}, \; x' = a\left(1 - \frac{d}{D}\right)$$

sich ergeben. Den Werth des im Subtrahenden stehenden Bruches will Pilar (a. a. O.) durch $\frac{5}{6}$ ersetzt wissen. Es kommt hierauf nicht eben viel an, denn der ganze Ausdruck kann ja selbstverständlich nur die Bedeutung einer ersten Näherung beanspruchen. Bei der Art der betrachteten Flüssigkeit würden strenge genommen noch weitere integrirende Faktoren, wie die Breite der Spaltenöffnung, die Reibung an den Grenzflächen u. s. w. in Betrachtung gezogen werden müssen, wozu es aber an der thatsächlichen Unterlage gebricht.

§. 6. **Allgemeines über die Physik der Erdrinde.** Wenn von den physikalischen Vorgängen im Inneren der Erdrinde die Rede ist, so muss man offenbar zweierlei Arten von Umformungen mechanischer Natur unterscheiden, solche, welche an der Grenzfläche von Kruste und Magma oder, besser gesagt, innerhalb der unvollkommen-flüssigen Uebergangsschicht, und solche, welche innerhalb der eigentlichen Umhüllungsschale sich vollziehen. Die erstgenannten Processe sind von Pilar [52] fleissig und hingebend, jedoch nicht immer in streng-physikalischem Geiste untersucht worden, und wenn wir im Folgenden einen kurzen Ueberblick über seine Ergebnisse einschalten, erkennen wir diese letzteren darum nicht unbedingt an. Auch von den internen Veränderungen, welche man als intrakrustale den — als ryakokrustal zu bezeichnenden — vorigen gegenüberstellen könnte, kann hier nur ganz im Allgemeinen die Rede sein. Denn zu viele Spezialkapitel der physischen Geographie sind gerade an diesen Fragen betheiligt, als dass irgendwie jetzt schon in Einzelheiten eingegangen werden könnte, so die Lehre von den vulkanischen und seismischen Erscheinungen, von den Hebungen und Senkungen der Kontinente, ganz besonders aber das weite Gebiet der Gebirgsbildungstheorie. Namentlich die letztere hat uns ja überhaupt den Betrieb solcher Studien nahe gelegt und zur Pflicht gemacht.

Pilar geht davon aus, dass die Dicke der Erdrinde durchaus nicht überall die gleiche sei; unterhalb der schlechtleitenden Theile jener rücken ihm zufolge die Chthonisothermen näher an einander, als

unterhalb der gut leitenden, demnach läge die Ryakohypse unter dem Lande tiefer, als unter dem Meere, bei welch' letzterem sowohl die grössere Wärmekapazität, als auch die gewöhnlich vorhandene Bewölkung die Ausstrahlung der Erdwärme verhindere. Behält a den ihm oben beigelegten Sinn als normaler Durchschnittswerth, während p_1 die mittlere Seehöhe eines Erdtheiles, p_2 die mittlere Tiefe eines Weltmeeres bezeichnet, so soll die Dicke der Kruste unter ersterem und unter letzterem bezüglich durch $(a + 6p_1)$ und durch $(a + 4p_2)$ gegeben sein. Die von ihm zum Beweise seiner Thesen herangezogenen Versuche von Jannetaz vermögen jedoch keineswegs zu einer so weit über ihren eigentlichen Zweck*) hinausgehenden Beweisführung die Basis abzugeben. Pilar steht sogar nicht an, den Morästen, Torfmooren, Waldungen, überhaupt jeder die Erdwärme zurückhaltenden Bedeckung des Erdbodens einen maassgebenden Einfluss hinsichtlich der Mächtigkeit des unmittelbar darunter liegenden Krustentheiles zuzugestehen. Er nimmt weiter, und wohl mit Recht, an, dass die Erdkruste aus einzelnen Schollen sich zusammensetzt, und unterscheidet Hebungsschollen und Senkungsschollen, erstere den Kontinenten, letztere den Oceanen entsprechend und durch Mittelzonen mit Bruchlinien von einander getrennt; letztere sind [56] meist geradlinig doch auch krummlinig und speziell wellenförmig begrenzt, 100 m bis 100 000 m lang und unter den verschiedensten Winkeln zwischen 0° und 45° einfallend. Wenn zwei vorher nächstbenachbarte Gebiete der Oberfläche dadurch von einander getrennt werden, dass bei einem Neubildungsprocesse von Schollen das eine der sinkenden, das andere der aufsteigenden Scholle angehört, so entsteht eine Verwerfung. Suess wollte [57] dieses Wort nur dann angewandt wissen, wenn blos der eine Flügel abgesunken ist, während Pilar [58] mit Verwerfung einen die ganze Erdrinde durchsetzenden Spaltenbruch bezeichnet, durch den auch eine Verschiebung der Bruchränder herbeigeführt und unter Umständen das bewirkt wird, dass, wie in England, Schottland und Wales nicht selten, die zeitlich verschiedensten geologischen Formationen unter dem nämlichen Niveau erscheinen. Versuche, welche Pilar mit Holzprismen von trapezförmigem Querschnitt anstellte, indem er dieselben

---

*) Diese Experimente [53], wie auch die vollkommeneren von Sénarmont [54], hatten das Gemeinsame, dass von dem auf seine Wärmeleitungsfähigkeit zu prüfenden Körper eine dünne Platte geschliffen, diese mit einer leicht schmelzbaren Substanz überzogen und nunmehr, nach Zubringung einer Wärmequelle, die Form der Kurve festgestellt wurde, welche den noch nicht geschmolzenen Theil abgrenzte. Doch genügt schon die gewöhnliche Theorie zu dieser Feststellung. Versteht man nämlich unter V die Temperatur, unter k_x, k_y, k_z die den — mit den Koordinatenaxen zusammenfallenden — thermischen Axen entsprechenden Leitungskoefficienten, so ist die Differentialgleichung der stationären Wärmebewegung im krystallinischen Mittel, je nachdem dieses isotrop oder nicht isotrop ist, eine der nachstehenden beiden Gleichungen:

$$\frac{d^2 V}{d x^2} + \frac{d^2 V}{d y^2} + \frac{d^2 V}{d z^2} = 0; \quad k_x . \frac{d^2 V}{d x^2} + k_y . \frac{d^2 V}{d y^2} + k_z . \frac{d^2 V}{d z^2} = 0.$$

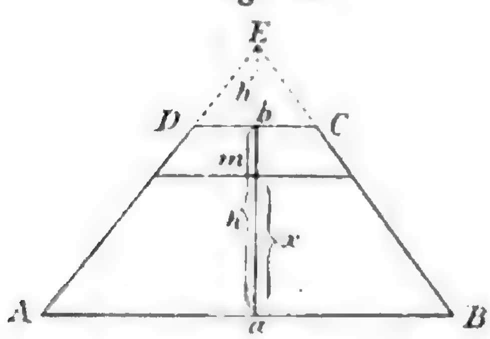
Die Temperaturfunktion hat in diesen beiden Fällen jeweils den Werth $\frac{m}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + n$ und $\frac{m}{\sqrt{k_x^2 . x^2 + k_y^2 . y^2 + k_z^2 . z^2}} + n$, wo m und n konstante Zahlen sind; entweder sind hiernach die Isothermflächen koncentrische Kugeln oder aber dreiaxige, ähnliche und ähnlichliegende Ellipsoide, deren Axen sich mit den thermischen Hauptleitungslinien decken [55].

in Wasser schwimmen liess, lieferten ihm in Verbindung mit einer einfachen Rechnung*) Anhaltspunkte über den Gleichgewichtszustand dieser theilweise vom Magma getragenen Hub- und Sinkschollen, doch wurden weder die Reibung, noch der Seitendruck in Betracht gezogen.

Wir sind so von den eigentlich ryakokrustalen bereits mitten in die, von jenen ersteren freilich vielfach abhängigen, intrakrustalen Dislokationserscheinungen hineingerathen. Für diese letzteren brachte uns die allerneueste Zeit die beiden grundlegenden Arbeiten von Fisher [59] und Suess [60]. Dem Ersteren zufolge geht das Heben und Senken der Schollen nicht in so relativ einfacher Weise vor sich, wie sich Pilar diess zurechtlegte, man muss sich vielmehr denken, dass alle Ortsflächen gleicher Dichtigkeit und gleichen Aggregatzustandes da, wo sie von einer Ortsfläche geringster Festigkeit durchschnitten werden, Ausbiegungen nach oben und unten erleiden, letzteres jedoch in weit geringerem Maasse. Uns weitere Auszüge aus dem Fisher'schen Werke für die betreffenden Spezialkapitel vorbehaltend, erwähnen wir hier nur noch, dass der englische Geophysiker die Dicke der Erdrinde sehr gering und damit die Erhebung der Ryakohypse sehr hoch anschlägt. — Im Gegensatze zu Fisher, welcher dem Magma und den aus diesem entweichenden Gasen und Dämpfen eine Hauptrolle bei den Ortsveränderungen innerhalb der Erdrinde zuschreibt und bestimmt erklärt, dass die blosse Erkaltungs-Schrumpfung nicht die zureichenden Erklärungsmomente an die Hand gäbe, stellt Suess (a. a. O.) an die Spitze seiner bezüglichen Betrachtungen den für die Freunde, wie für die Gegner seiner Anschauungsweise gleich beachtenswerthen Satz: „Die sichtbaren Dislokationen in dem Felsgerüste der Erde sind das Ergebniss von Bewegungen, welche aus der Verringerung des Volumens unseres Planeten hervorgehen. Die durch diesen Vorgang erzeugten Spannungen zeigen das Bestreben, sich in tangentiale und in radiale Spannungen und dabei in horizontale (d. i. schiebende und faltende) und in vertikale (d. i. senkende) Be-

*) Bei Pilar (a. a. O.) gestaltet sich der Kalkul viel zu verwickelt. Ein gleichschenkliges Trapez ABCD (Fig. 63) vom spezifischen Gewichte $\frac{5}{6}$ schwimmt in Wasser (spez. Gew. = 1); bis zu welcher Tiefe x es eintaucht, soll berechnet werden. Die beiden parallelen Seiten mit a und b, die Höhe mit h, die der Tiefe x entsprechende Parallele mit m bezeichnend, findet man zuerst durch Anwendung des archimedischen Principes

Fig. 63.



$$\frac{5}{6} \cdot \frac{1}{2} (a + b) h = \frac{1}{2} (a + m) (h - x).$$

Nun ergänzt man das Trapez zum Dreieck ABE und gewinnt, mit h' die Ergänzungshöhe bezeichnend, durch Betrachtung von zwei Paaren ähnlicher Dreiecke die Proportionen $h' : (h + h') = b : a$ und $h' : (h' + h - x) = b : m$, woraus

$h' = \frac{b\,h}{a - b}$, $m = \frac{a\,h - (a - b)\,x}{h}$ und schliesslich

$$x = \frac{h}{a - b} \cdot \left(- b + \sqrt{\frac{1}{6} (a^2 + 5\,b^2)} \right)$$

folgt. Für sein Beispiel a = 20, b = 4, h = 60 berechnet Pilar x = 18,5 und den entsprechenden Werth (18,5415) liefert auch unsere unverhältnissmässig einfachere Formel.

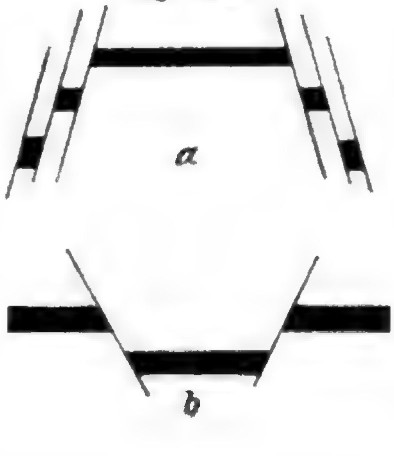
wegungen zu zerlegen. Man hat daher die Dislokationen in zwei grosse Hauptgruppen zu trennen, von welchen die eine durch mehr oder minder horizontale, die andere durch mehr oder minder vertikale Ortsveränderungen grösserer oder geringerer Gebirgstheile gegen einander erzeugt worden sind." Durch die in diesen Worten signalisirte konsequente Durchführung eines statischen Fundamentaltheoremes führt Suess auf die „Dislokationen durch tangentiale Bewegung" zurück die Faltungen [61], die Schuppenstruktur [62], die Ueberschiebungen [63] und die Blätterbildung [64]; den „Dislokationen durch Senkung" danken ihr Dasein die peripherischen und radialen Sprünge [65], die (bergmännisch so genannten) Horste [66], die Flexuren und Verschleppungen [67] und die Tafelbrüche [68]; endlich giebt es auch „Dislokationen aus vereinigter Senkung und tangentialer Bewegung" [69], durch welche die am Riesen- und Isergebirge, wie auch am Teutoburger Walde hervortretenden Rückfaltungen und die für die verwickelten Lagerungsverhältnisse der belgischen Kohlenfelder den Schlüssel abgebenden Vorfaltungen bedingt erscheinen*).

Zu einer Entscheidung darüber, ob die mit einem feurig-flüssigen Erdinneren rechnende Theorie von Pilar und Fisher oder die von ryakokrustalen Phänomenen ganz absehende und ausschliesslich intrakrustale Processe zulassende Kontraktionstheorie von Suess das Richtige treffe, wird die Wissenschaft sobald nicht gelangen, und am allerwenigsten wäre hier der Ort dazu, einer solchen Entscheidung vorarbeiten zu wollen. Jedenfalls ist dieselbe mit abhängig von den neuen Gesichtspunkten, welche aus der Erforschung der Vulkan- und Erdbeben-Erscheinungen zu abstrahiren sind. Diesen letzteren wenden wir uns deshalb jetzt zu.

[1] Schiaparelli, Die Vorläufer des Coppernicus im Alterthum, deutsch von Curtze, Leipzig 1876. S. 8 ff. — [2] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Rücksicht auf Schöpfungsgeschichte, 1. Abtheilung, Gütersloh 1877. S. 137. — [3] Rixner-Siber, Leben und Lehrmeinungen berühmter Physiker am Ende des XVI. und Anfang des XVII. Jahr-

*) Die Erklärungsmethode von Suess dringt jedenfalls von allen zur Zeit bekannten in die individualistischen Eigenthümlichkeiten irgend einer geologischen Phase am tiefsten ein. Diess tritt besonders zu Tage bei den Horsten, bei denen der Wiener Geologe verschiedene Ordnungen zu unterscheiden lehrt, während Pilar für Horste und Gruben, wie sie in Fig. 64a und b abgebildet sind, sich mit der einfachen Notiz begnügt, dass die nach oben schmal zulaufenden Schollen Hubschollen, dagegen die nach unten schmal zulaufenden Senkschollen seien. v. Groddeck giebt der üblichen Regel, wie man bei einem solchen Gebilde die Fortsetzung der plötzlich abbrechenden Schicht aufzusuchen habe, folgende Fassung [70]: Befindet man sich bei'm Anfahren der Kluft im Hangenden derselben, so hat man, nach Durchbrechung der Kluft, in das Hangende des verworfenen Flötzes aufzufahren, im anderen Falle dagegen, wenn man sich bei'm ersten Befahren der Kluft in deren Liegendem befand, muss auch im Liegenden jenes Flötztheiles gesucht werden. Kürzer [71]: Man fahre über den stumpfen Winkel hin, bis man das abgetrennte Ende wieder findet.

Fig. 64.



hunderts, Sulzbach 1824. S. 177. — [4] J. C. F. Fischer, Geschichte der Naturlehre, 2. Band, Göttingen 1802. S. 7 ff. — [5] Leibniz, Protogaea seu de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis, Lipsiae 1693. S. 40 ff. — [6] Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, 1. Band, 2. Theil, Braunschweig 1874. S. 436 ff. — [7] J. C. F. Fischer, Gesch. d. Nat., 6. Band, Göttingen 1805. S. 881. — [8] Halley, On the structure of the internal parts of the earth and the concave habitated of the stell, Phil. Transact., Vol. XVII. S. 563 ff. — [9] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 178. — [10] Breislak, Institutions géologiques, tome VIII, 1. Milan 1818. S. 55. — [11] C. W. und E. F. L. Marschall von Bieberstein, Untersuchung über den Ursprung und die Ausbildung der gegenwärtigen Anordnung des Weltgebäudes, Giessen und Darmstadt 1802. — [12] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 4. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1828. S. 1247. — [13] Hopkins, Rechearches of physical geology, Phil. Transact., Vol. CXXIX. S. 381 ff.; Vol. CXXX. S. 193 ff.; Vol. CXXXII. S. 43 ff. — [14] G. H. Darwin, On the precession of a viscous spheroid, Phil. Transact. Vol. CLXX. S. 447 ff. — [15] Delaunay, On the hypothesis of the internal fluidity of the terrestrial globe, Geol. Mag., Vol. V. S. 507 ff. — [16] Folie, Sur un critérium astronomique certain de l'existence d'une couche fluide à l'intérieur de l'écorce terrestre, Bruxelles 1882. — [17] R. Mallet, On volcanic energy, Phil. Transact., Vol. CLXIII. S. 151 ff. — [18] G. H. Darwin, On the bodily tides of viscous and semi-elastic spheroids and on the ocean tides on a yielding nucleus, Phil. Transact. Vol. CLXX. S. 1 ff. — [19] Thomson-Tait, Handbuch etc., 1. Band, 2. Theil. S. 419 ff. — [20] G. H. Darwin, Proceedings of the r. society, 1881. S. 432 ff. — [21] Barnard, On the internal structure of the earth considered as affecting the phenomena of precession and nutation, Smithsonian Contributions to knowledge, N. 310, S. 9 ff. — [22] Hennessy, The rigidity of the earth, Nature, Vol. VII. S. 288. — [23] Airy, The interior of the earth, ibid. Vol. XVIII. S. 41 ff. — [24] Zöppritz, Der gegenwärtige Stand der Geophysik, Wagner's Geogr. Jahrb., 8. Band. S. 19. — [25] Werner Siemens, Physikalisch-mechanische Betrachtungen, veranlasst durch eine Beobachtung der Thätigkeit des Vesuv im Jahre 1871, Monatsber. d. k. preuss. Akad. d. Wissensch., 1878. S. 558 ff. — [26] Nies-Winkelmann, Ueber Volumänderungen einiger Metalle bei'm Schmelzen, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., Math.-phys. Kl., 1881. S. 63 ff. — [27] Zöppritz, D. gegenw. Stand etc., S. 31. — [28] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's Geogr. Jahrb., 9. Band. S. 8. — [29] Heer, Escher von der Linth; Lebensbild eines Naturforschers, Zürich 1873. S. 126. — [30] Reyer, Beitrag zur Physik der Eruption und der Eruptivgesteine, Wien 1877. S. 124. — [31] Ibid. S. 109 ff. — [32] Legendre, Recherches Sur la figure des planètes, Mém. de l'acad. franç. des sciences, Année 1784. S. 370 ff. — [33] Roche, Mémoire sur l'intérieur du globe terrestre, Montpellier 1881. — [34] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 177 ff. — [35] Franklin, Conjectures concerning the formation of the earth, Transact. of the Amer. phil. society, Vol. III. N. 1. — [36] Gehler's phys. Wörterb. 2. Aufl., 3. Band, S. 1071 ff.; 4. Band, 2. Abtheilung, S. 1256. — [37] Spencer, The form of the earth no proof of original fluidity, Phil. Mag., (3) Vol. XXX. S. 194 ff. — [38] A. Ritter, Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und die Konstitution gasförmiger Weltkörper, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 5. Band, S. 405 ff. S. 543 ff.; 6. Band, S. 135 ff.; 7. Band, S. 304 ff.; 8. Band, S. 157 ff. — [39] Ibid. 5. Band, S. 416. — [40] Ibid. S. 419 ff. — [41] Ibid. S. 423 ff. — [42] M. Kuhn, Ueber die Beziehung zwischen Druck, Volumen und Temperatur bei Gasen, Wien 1875. — [43] Biehringer. Ueber eine Erweiterung der Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 26. Jahrgang. S. 377 ff. — [44] Zöppritz, Ueber die Mittel und Wege, zur besseren Kenntniss vom inneren Zustande der Erde zu gelangen, Verhandl. d. I. deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 15 ff. — [45] Seydler, Ueber das Gleichgewicht einer gravitirenden, ursprünglich homogenen Kugel, Sitzungsber. d. k. böhm. Gesellsch. d. Wissenschaften, 1882. — [46] A. Boué, Note sur la symétrie de la surface du globe, Ann. de la soc. géol., (3) tome XVII. S. 451. — [47] F. Pfaff, Allgemeine Geologie als exakte Wissenschaft, Leipzig 1873. S. 302. — [48] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 58 ff. — [49] Fisher, On the possibility of changes in the latitudes of places; being an appell to physicists, Geo. Mag., (2) Vol. V. S. 293 ff. — [50] Belli, Pensieri sulla consistenza e sulla densità della crosta solida terrestre, Milano 1851. — [51] Pilar, Grundzüge etc. S. 98 ff. — [52] Ibid. S. 100 ff. — [53] Jannetaz, Rapport sur la pro-

pagation de la chaleur dans les roches et de leur structure au point de vue de leur origine, Compte rendu du congrès internat. de géol. à Paris, S. 222 ff. — [54] Sénarmont, Note sur les propriétés thermiques du tourmaline; Mémoire sur la conductibilité des substances crystallisées pour la chaleur, Ann. de chim. et de phys., Vol. XXI; Vol. XXII; Vol. XXIII. — [55] Plücker-Dronke, Einleitung in die mathematische Theorie der Wärmeverbreitung, Leipzig 1882. S. 82 ff. — [56] Pilar, Grundzüge etc. S. 114 ff. — [57] Suess, Die Entstehung der Alpen, Wien 1875. S. 31. — [58] Pilar, Grundzüge etc. S. 119. — [59] Fisher, Physics of the earth's crust, London 1881. — [60] Suess, Das Antlitz der Erde. Erste Abtheilung, Prag und Leipzig 1883. S. 142 ff. — [61] Ibid. S. 144 ff. — [62] Ibid. S. 149 ff. — [63] Ibid. S. 152 ff. — [64] Ibid. S. 159 ff. — [65] Ibid. S. 166. — [66] Ibid. S. 167 ff. — [67] Ibid. S. 171 ff. — [68] Ibid. S. 174 ff. — [69] Ibid. S. 181 ff. — [70] v. Groddeck, Die Lehre von den Lagerstätten der Erze, Wien 1879. S. 22. — [71] Quenstedt, Epochen der Natur, Tübingen 1861. S. 206.

Kapitel III.

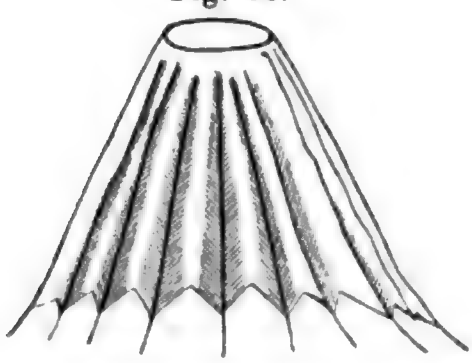
Die vulkanischen Erscheinungen.

§. 1. Definition und allgemeine Beschreibung der Vulkane. Als vulkanische Phänomene bezeichnet man nach der umfassenden Definition Poulett Scrope's [1] jedwedes Ausstossen fester, flüssiger, halbflüssiger oder gasförmiger Massen durch Spalten der Erdrinde. Damit ist von selbst die vulgäre Identificirung von Vulkan mit feuerspeiendem Berg als eine allzu beschränkte zurückgewiesen, doch hat sich dieselbe ein solches Uebergewicht zu verschaffen gewusst, dass halb unwillkürlich auch in diesem Kapitel das Wort Vulkan in diesem landläufigen Sinne gebraucht werden wird. In sehr drastischer Weise giebt die Erklärung eines Vulkanes ein wackerer älterer Physiker, Heinrich Müller [2]: „Per montes ignivomos, vi etymologiae, facile patet nos tales intelligere montes, qui frequenti flammarum horrendarum eructatione celebres sunt, ac pro ceteris conspicuis, idemque Vulcanorum appellationem denotare manifestum est, quando et isti nihil aliud indicant, quam officinas quasdam, in quibus viri Vulcanii strenue laborando id efficiunt, ut infernalis quasi furor ipsorum, in cudendis nescio quibus cruciatibus et tormentis saepissime in montium apicibus perterribiles fumos flammasque erumpendo se prodat." Wir werden jedoch sogleich sehen, dass nach den neuesten methodologischen Arbeiten v. Seebach's [3] selbst diese altgewohnte Zusammenwerfung von vulkanischen Bergen und von Feuerbergen nicht mehr aufrecht erhalten werden darf.

§. 2. Die Stratovulkane. Diese Vulkane κατ' ἐξοχήν oder geschichteten Vulkane danken ihre Entstehung gewaltsamen Eruptionen, denn der Aufbau derselben hängt nicht sowohl von den aus der Erdrinde unmittelbar hervortretenden feurig-flüssigen Massen, sondern von den Aschenmassen ab, welche durch die Gewalt der Eruption in die Höhe geschleudert werden und bei'm Herabfallen schichtenweise sich um den bereits fertigen Bau herumlegen. So entsteht ein abgestumpfter Kegel, der oben jedoch nicht eigentlich abgeplattet ist, sondern eine

muldenförmige Einsenkung, den sogenannten Krater, aufweist. In dessen Innerem aber pflegt wieder ein kleiner Aschenkegel aufzusteigen, dessen Axe ausgehöhlt ist, so dass durch diese Röhre die inneren Partieen der Erdrinde mit der atmosphärischen Luft in Kommunikation treten. Natürlich ist dieser Grundtypus der Stratovulkane in voller, sozusagen geometrischer Reinheit nicht immer vorhanden, die äussere Mauer kann theilweise eingestürzt sein, der Aschenkegel und Verbindungsschlöte kann es eine ganze Menge geben, wie denn dem Pico de Teyde und dem Mauna Loa zwei grosse Krater, dem Vesuv 30, dem Aetna sogar an 700 Eruptionsöffnungen zugehören*). Die Kegel sind selten glatt von Oberfläche, vielmehr kann man gerade an ihnen sehr gut die ausnagenden Wirkungen der Luft und der meteorischen Gewässer studiren, welch' letztere, als Giessbäche niederrauschend, die in Südamerika unter dem Namen Barranco's [5] — vgl. Fig. 66 — bekannten Rinnen in ihre Unterlage eingraben. Die Schichtenstruktur der Aufschüttungskrater tritt nach v. Hochstetter am klarsten bei den neuseeländischen Vulkanen zu Tage, welche dieser Gelehrte deshalb als förmliche Modelle zum Studium empfiehlt [6]. Gewöhnlich bildete sich zuerst, vielleicht submarin, ein aus losen Schlacken- und Aschenbestandtheilen und aus von Wasser durchtränktem Schlamm erbauter Tuffkegel, resp. Tuffkrater, um diesen herum legte sich in vielen Fällen ein Schlackenkegel, zusammengesetzt aus zähflüssigeren und nach erfolgter Abkühlung spröderen Erstarrungsprodukten des intrakrustalen Magma's, und wenn nun später noch Lavaströme folgten, so legten sich diese wie ein förmlicher Mantel um den fertigen Tumulus herum als Lavakegel. In Fig. 67 bedeutet nach v. Hochstetter C den Tuffkegel, den eigentlichen Kern des vulkanischen Gebäudes, B den Schlackenkegel und A den Lavakegel; bezeichnet man mit γ, β, α resp. die

Fig. 66.



*) Fig. 65 stellt, nach Poulett Scrope [4], den Aetna dar, wie er von

Fig. 65.

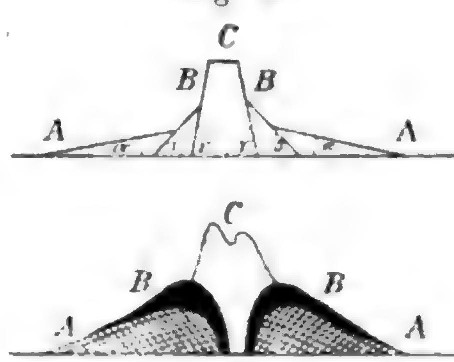


Catania aus sich darstellt; es soll dadurch zugleich eine allgemeine Vorstellung von dem Aussehen eines feuerspeienden Berges vermittelt werden.

von den einzelnen Kegelmänteln mit der Horizontalebene eingeschlossenen Winkel, so muss, wie die Figur zeigt und wie auch aus der Entstehungsgeschichte selbst hervorgeht, $\gamma > \beta > \alpha$ sein. Unser Diagramm rechtfertigt auch zur Genüge die Wahl der Namen „Aufschüttungs- oder geschichteter Vulkan“.

Sehr schätzenswerthe Untersuchungen über diese Gattung von Vulkanen hat Milne [7] angestellt. Was deren äussere Form anlangt, so erweisen sich nach ihm sechs Faktoren als für sie bestimmend. Die geometrische Regelmässigkeit wird um so reiner bewahrt, eine je centralere Lage der Krater besitzt und auch für mehrere einander folgende Eruptionen bewahrt; jede Ungleichmässigkeit im örtlichen und zeitlichen Austreten der Lava beeinträchtigt jene Regelmässigkeit; besonders wirksam erweisen sich dabei das seitliche Ausbrechen der Gluthflüssigkeit und die Bildung parasitischer Kegel; ist die Axe des Schlotes keine vertikale, so dass die Auswurfsprodukte von vorn herein eine gewisse Richtung zu begünstigen genöthigt sind, wie z. B. beim Ausbruch das Oshima im Jahre 1877 beobachtet ward, so muss eine Verbreiterung des Kegels nach der betreffenden Seite hin erfolgen; Gleiches bewirkt der während des Eruptionsaktes herrschende Wind, durch welchen die Ueberwindseite des Berges mehr abgeflacht wird, wie besonders deutlich an dem Fusijama zu sehen; spezifisches Gewicht und Porosität der Baustoffe kommen ebenfalls in Betracht; die Erosionswirkungen können der einmal vorhandenen Regularität weniger anhaben, wohl aber ändern sie langsam und sicher die Neigungswinkel der Bergwände. Eben diese Winkel sind von Milne einer äusserst sorgsamen Betrachtung unterzogen worden. Er liefert auf eigener Tafel fünf Profilkurven, deren eine dem Kumagatake auf Japan, eine dem Vesuv entspricht, während die drei anderen dem Fusijama, von verschiedenen Seiten betrachtet, zugehören, und belehrt uns durch den unmittelbaren Augenschein, dass diese Kurven sehr nahe die Krümmung einer logarithmischen Linie wiedergeben. Diese nämliche Kurve aber ist ebensowohl die Kurve gleicher rückwirkender Festigkeit [8], wie auch die Böschungskurve eines auf horizontaler Ebene ruhenden und den in seinen einzelnen Theilen wirkenden Gravitations-, Kohäsions- und Reibungskräften überlassenen Sandhaufens*). Folgende Böschungswinkel sind von Milne [12] gemessen worden: Fusijama 30°, Osamajama 28°, Ganjosan 31°, Twakisan 30°, Kumagatake 40° (sämmtliche liegen in Japan). Natürlich macht sich — vgl. Fig. 67 — namentlich in den der Spitze näher gelegenen Partieen auch die selbstständige Neigung des etwa bereits

Fig. 67.



*) Neuere Arbeiten über diese Wechselbeziehungen lassen die angeführte Thatsache allerdings nur als eine Annäherung an die Wirklichkeit erscheinen. Versteht man unter c die Kohäsion per Quadrateinheit, unter h die Höhe, unter g das Gewicht der Kubikeinheit des den Haufen bildenden Stoffes, unter f den Reibungskoefficienten, unter τ das Komplement des Reibungswinkels, unter ε den Böschungswinkel, so würde den älteren Vorstellungen gemäss die von Français [9]

vorhandenen Kernkegels geltend, um welchen herum die Aufschüttung erfolgt.

Neuerdings ist von Suess, der auch die oft frappante Aehnlichkeit der im Gefolge von Erderschütterungen vielfach auftretenden winzigen Sandkegel mit wirklichen Stratovulkanen grossen Styles betont, darauf aufmerksam gemacht worden [13], dass schematische Vorstellungen von der inneren Struktur eines Feuerberges stets ihr Missliches haben. Suess' Methode, durch Aufsuchen einer Denudationsreihe allmählig von oben nach unten in die Geheimnisse des Vulkangebäudes einzudringen, verspricht für die Zukunft bedeutende Ergebnisse.

§. 3. **Domvulkane.** Mit diesem Namen bezeichnet v. Seebach in seiner uns bereits bekannten grundlegenden Abhandlung die Gebilde jener Gattung vulkanischer Thätigkeit, welcher der eruptive, der gewaltsame Charakter fehlt. Wird das Magma mit verhältnissmässiger Ruhe, und ohne dass Dampfentwickelungen ihr Aufsteigen geleiten, in den Verbindungskanälen in die Höhe getrieben, so fliessen die austretenden Lavamassen nach allen Seiten ziemlich gleichmässig ab, in zähflüssigem Zustande kompakte kuppelartige Berge, in leichtflüssigem blos einen die Erdoberfläche deckenförmig überlagernden Mantel bildend. Die Basalt-, Trachyt-, Phonolith- und Andesitkegel, die in vulkanischen Gegenden häufig vorkommen, gehören zu dieser zweiten Kategorie; allerdings konnte diese Einreihung erst in neuerer Zeit so erfolgen, nachdem der früher viel bestrittene plutonische Charakter der betreffenden Gesteinsarten über jeden Zweifel erhaben gelten darf. Die petrographische Beschaffenheit der diese Vulkane aufbauenden Stoffe ist eine völlig andere und zwar eine ungemein gleichartigere, denn die der geschichteten Vulkane, weshalb man wohl auch die Bezeichnung Homogene Vulkane auf sie angewandt hat. Namentlich in Amerika und Schottland haben v. Richthofen und Geikie solche Formen häufig angetroffen; Letzterer sagt ausdrücklich [14], dass während seiner Reisen am Schlangenflusse mit zwingender Gewalt sich ihm die Ueberzeugung aufgedrängt habe, dass es ausser dem gewöhnlichen noch einen zweiten und zwar umfassenderen Typus von Vulkanismus gäbe, nämlich den der kraterlosen Entbindung gluthflüssiger Bestandtheile des Erdinneren. Hierher haben wir auch die merkwürdige Erscheinung der sogenannten Laccolithe zu zählen, die in Amerika besonders häufig auftreten und von Dana, G. K. Gilbert, Holmes und anderen transatlantischen Geologen näher beschrieben,

---

aufgestellte Formel gelten:

$$c = \frac{1}{2} gh \left(\operatorname{tg} \frac{\tau + \varepsilon}{2} - \operatorname{tg} \varepsilon\right)\left(\cos^2 \frac{\tau + \varepsilon}{2} - f \sin \frac{\tau + \varepsilon}{2} \cos \frac{\tau + \varepsilon}{2}\right).$$

Löwe erwies aber durch eine äusserst umfängliche Versuchsreihe [10], dass man nothwendig einen veränderlichen Reibungskoefficienten

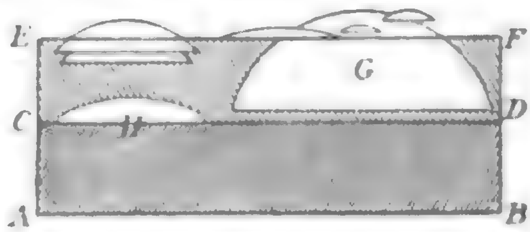
$$f = \frac{\operatorname{cotg} \tau}{\cos \varepsilon}$$

einsetzen müsse, der um so grösser wird, je grösser man den Böschungswinkel ε wählt, d. h. in je tiefere Schichten man hinabsteigt; hiedurch geht Français' Formel in nachstehende über [11]:

$$c = \frac{gh \cos^2 \tau}{4 \sin \tau \cos^2 \varepsilon} \left[1 + \operatorname{tg}^2 \tau \cos \varepsilon - \frac{\cos \varepsilon}{\cos \tau} (1 + \sin \varepsilon \operatorname{tg} \tau)\right].$$

durch Kinahan aber auch für Irland nachgewiesen wurden [15]. Der Name rührt von G. K. Gilbert her [16], eine Zusammenstellung der über diese merkwürdigen Gebilde veröffentlichten Nachrichten verdanken wir Suess, dessen Werke [17] auch die einen Laccolithen darstellende Fig. 68 entnommen ist. Darin bedeutet AB den Meerespiegel, CD die obere Grenze der Karbon-, EF die obere Grenze der Juraformation, G den sogenannten „Hillers-Laccolith", H den „Pulpit Lace". Die Laccolithe treten gruppenförmig auf, werden bis zu 2000 m hoch, während die Peripherie der Basis oft mehrere Kilometer erreicht. Die Erosion der Atmosphärilien hat vielfach bewirkt, dass die den Laccolith bildenden trachytischen Intrusivmassen unverhüllt zu Tage treten, so dass die Suess'sche Denudationsreihe sehr leicht hergestellt werden kann. Die subkarbonischen und Kreideschichten der Erdrinde sind durch die mit majestätischer Ruhe und Gleichmässigkeit aufgestiegenen Magma-Massen nicht zersprengt, aber so enorm aufgetrieben worden, dass sie, die sonst immer horizontal erscheinen, die stärksten Einfallswinkel, von 45° bis 80°, aufweisen. Von den euganäischen Bergen bei Padua versichert Suess [18], dass sie ähnlichen Intrusivprocessen ihre eigenthümliche Gestalt verdankten.

Fig. 68.



§. 4. **Uneigentliche Vulkane.** Wenn wir das Wort „Vulkan" in dem weiten Sinne des §. 1 beibehalten und von einem solchen auch dann noch reden, wenn nicht blos Lava, eventuell vermischt mit Aschen, Gasen, Dämpfen u. s. w., sondern irgend eine tropfbare oder elastische Flüssigkeit den Spalten der Erde entsteigt, so gelangen wir zu den uneigentlichen Vulkanen*). Auch bei ihnen sind Unterabtheilungen zu machen: die Geysir's, Fumarolen, Solfataren, Mofetten und Schlammvulkane.

a) **Geysir's.** Nur der Vollständigkeit wegen erwähnen wir dieser heissen Quellen, deren Wassermassen nicht ruhig und kontinuirlich, sondern stoss- und ruckweise nach aussen befördert werden, schon an dieser Stelle, doch versparen wir eine eingehende Besprechung ihrer Eigenschaften auf das von den Quellen im Allgemeinen handelnde Kapitel des zweiten Bandes.

b) **Fumarolen.** So nennt man Oeffnungen in der Erde, welche neben geringen Quantitäten anderer Gase und Dämpfe vorzüglich Wasserdampf aushauchen. Gewöhnlich kommen die Fumarolen in unmittelbarer Nähe thätiger Vulkane vor. Häufig ist der Wasserdampf, der auf diese Weise geliefert wird, so rein und so frei von den ihn anderwärts trübenden Stoffen (Salzsäure, Schwefelwasserstoff u. s. w.), dass man durch Kondensation desselben brauchbares Trinkwasser gewinnen kann, wie diess nach K. Fuchs [20] die Hirten der wasserarmen Insel Pantellaria thun sollen. Dampfquellen dieser Art giebt es ausser in

*) Diese treffende Nomenklatur entlehnen wir Muncke's sorgfältigem Artikel „Vulkane" [19], dem wir auch für manche andere Nachweisung zu Dank verpflichtet sind.

Italien (Ischia, Umgegend des Vesuv) besonders in Island, wo sie vielfach untermengt mit den Geysir's auftreten, in Java, auf der neuseeländischen Nordinsel u. a. a. O. [21]. Bekannt sind die massenhaft im Gefolge des neuentstandenen Feuerberges Yorullo entstandenen Fumarolen, von den Eingeborenen als „Oefen“ (Hornito's) bezeichnet, deren ursprünglich ausserordentlich hohe Temperatur jedoch nach den von Lyell [22] gesammelten Angaben mit der Zeit, und vermuthlich in Folge des allmähligen Abkühlens der ihnen benachbarten Magma-Schichten, sehr bedeutend gegen damals zurückgegangen ist, als Humboldt (1803) seine Messungen vornahm.

c) **Solfataren.** Nicht principiell, sondern nur mehr graduell verschieden von den soeben geschilderten Dampfquellen sind die Solfataren oder Gasquellen; Fuchs definirt sogar [23] die Fumarolen als wesentlichste Manifestationen des Solfatarenzustandes, welcher einen Zustand sehr schwacher, ja beinahe latenter vulkanischer Regsamkeit kennzeichnet. Schwefelwasserstoff und schweflige Säure wiegen nunmehr vor, die Dämpfe treten zurück. Der Name Solfatare, der ursprünglich Schwefelgrube bedeutet, bezog sich zunächst auf einen kleinen Krater in der Nähe von Puzzuoli, der Schwefeldämpfe aushaucht, einmal aber — im Jahre 1598 — sich sogar zu einer wirklich eruptiven Aktion aufraffte [24]. Sehr viele Plätze dieser Art sind bekannt, doch kommen auch spontane und plötzliche Aeusserungen des Solfatarenzustandes an Orten vor, welche vor- und nachher sich in vulkanischer Beziehung völlig neutral verhielten. So berichtet vom Rath [25], dass am 25. December 1881 und am 13. Januar 1882 im Golf von Patras sehr energische Exhalationen von Schwefelwasserstoff stattfanden, welche Mengen von Fischen tödteten und von Sturm und Erzittern des Erdbodens begleitet waren. Der Geruch verrieth den ausgeathmeten Stoff als Schwefelwasserstoffgas, und auf die gleiche Ursache wies die Veränderung hin, welche an gefärbten Gegenständen konstatirt werden konnte.

Den Solfataren vielfach ähnlich sind jene Gasvulkane im engeren Sinne, aus welchen als Hauptbestandtheil Wasserstoffgas aufsteigt, welches sich entzünden lässt und dann oft eine ziemliche Weile fortbrennt. Auf diese hüpfenden Flämmchen haben zuerst Spallanzani und Ménard de la Groye die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Kreise hingelenkt [26]. In Italien findet man dergleichen bei Pietra Mala, wo oft ansehnliche Quantitäten von Knallgas zum Verpuffen kommen, ferner giebt es Gassprudel in Ungarn und Kleinasien [27], in Kurdistan, Indien und am Eriesee [28]. Eine der bemerkenswerthesten Naturerscheinungen in China sind die chinesischen Feuerbrunnen Kia-Tin-Fu, Yung-Hian, Ou-Thung-Kiao und Wei-Yuan-Hian. Huc und Gabet erzählen, gestützt auf die Angaben des Missionärs Imbert, dass in der (westlichsten) Provinz Sse-tschuan auf einem Flächenraume von 50 französischen Quadratlieues nicht weniger als zehntausend solcher Yen thing (Feuerbrunnen) oder Ho thing (Salzbrunnen) angetroffen würden, deren Ausbeutung durch Private oder Gesellschaften schwunghaft betrieben werden [29]. Dieselben liefern zum Theile eine mit Gasen aller Art vermengte Salzsoole, zum Theile aber auch förmliches Leuchtgas. Weitaus am berühmtesten sind gewiss die ewig brennenden Feuer von Baku am kaspischen Meere, welche für den Gottesdienst

die Parsen eine hohe traditionelle Bedeutung gewonnen haben. Ob diese entzündlichen Gase auf vulkanische Processe im Erdinneren hinweisen, oder nicht, kann noch nicht als entschieden gelten, doch ist es wahrscheinlich, da auch sonst in der Umgegend Baku's Spuren dereinstiger Vulkaneität zu Tage treten; am 27. November 1827 wurde die unterirdische Gasentwickelung so stark, dass in dem daghestanischen Dorfe Jakmali ein Feuerstrom, begleitet von Detonationen, hervorbrach, der erst nach vierundzwanzig Stunden wieder erlosch. G. H. Hess analysirte [30] die ihm in hermetisch verschlossenen Röhren übersandten Gase des Baku-Tempels und fand, dass nicht Volta, der darin Sumpfgas erblickt hatte, sondern Spallanzani mit einer früher aufgestellten Hypothese im Rechte gewesen war: es ist Kohlenwasserstoff mit einem leichten Zusatz von Naphtha, welch' letzteres selbst aus Kohlen- und aus Wasserstoff im Verhältnisse von 77,5 : 22,5 besteht. Endlich ist als hierher gehörig noch der in der Saline zu Rheina (nördliches Westphalen) befindliche Windbrunnen zu erwähnen, dessen Gas zur Erleuchtung des genannten Etablissements verwendet wurde [31].

Bei all' diesen Gasvulkanen oder Gasquellen gilt allerdings die ungemein weite Definition Poulett Scrope's (§. 1). In vielen Fällen aber wird, was die Ursachen derselben anbelangt, von eigentlichem Vulkanismus nicht viel die Rede sein können, vielmehr ist gewiss sehr häufig an blosse Erdbrände zu denken*).

*) Erdbrände entstehen meistens dadurch, dass auf irgend eine Weise, nicht selten durch Menschenhand, subterrane Kohlenflötze entzündet werden. So sollte das Steinkohlenflötz des Saarbrückener Beckens im Jahre 1660 durch die Unvorsichtigkeit eines Hirten, jenes von Zwickau anlässlich der Belagerung dieser Stadt im dreissigjährigen Kriege in Brand gerathen sein [32], während die „Meissnische Bergchronik“ des Albinus einen Jäger schon 1479 in das jetzt sogenannte „tiefe Pechkohlenflötz“ gerathen und durch einen unvorsichtigen Schuss diesen die Katastrophe herbeiführen lässt. Jedenfalls thut schon Agricola (vgl. die gesch.-lit. Einleitung) in seiner Grubenkunde des Brandes Erwähnung: er lebte, wie wir den von Funcke in den Sitzungsberichten der Dresdener „Isis“ gegebenen und hier mehrfach benützten Mittheilungen entnehmen, von 1518 bis 1522 in Zwickau und beschreibt die glimmenden Planitzer Kohlenlager folgendermassen: „Verum incendio principium hominum aetas non novit. Ante quadraginta annos vehementius arsit mons adeo, ut metum incuteret oppido. Quia vero in superficie tantum ardet, verisimile est, eum ab homine primum accensum fuisse.“ Die dem sächsischen Erdbrande entströmende Hitze gestattete die Anlegung von Treibhäusern auf dem davon betroffenen Terrain, welche fast gar keiner künstlichen Erwärmung bedurften, dafür aber ab und zu einem Ortswechsel sich unterziehen mussten und heute bereits dem gänzlichen Untergange verfallen sind (D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 6. Jahrgang. S. 181). Brennende Schichten gab oder giebt es noch in Böhmen, im hessischen Habichtswalde, in Esthland, in Sibirien, am Ausfluss der Rhone und noch in manch anderen Gegenden [33], auch die Erscheinung des brennenden Hügels im Lande der Baschkiren gehört hierher. Ein Blitzschlag war die Ursache dieses Brandes, der mindestens drei Jahre andauerte und durch seinen gleichmässigen, absolut un-eruptiven Verlauf für Breislak [34] den Beweis lieferte, dass nur Petroleum oder sonst ein völlig schwefelfreier Stoff in langsamer Gluth sich verzehrte. Muschketov und v. Middendorff wollen mehrere Behauptungen Humboldt's über centralasiatische Vulkane auf brennende Flötze (Pseudo-Solfataren) zurückführen [35]; ihnen zufolge gienge auch v. Richthofen's Interpretation der Solfataren von Turfan und Urumtsi [36] zu weit. Salmiak und Schwefel entstünden im russischen Asien nicht selten durch einen Sublimationsprocess aus Kohlenfeldern, und man dürfe nicht gleich an vulkanischen Ursprung denken, auf welch' letzteren auch der von dem berühmten China-Forscher angezogene Reisebericht des Arabers Massudi nicht nothwendig hinweise.

d) **Mofetten.** Tritt Kohlensäure an die Stelle der Dämpfe und Gase, welche wir bei Fumarolen und Solfataren kennen lernten, so werden die Gasquellen Mofetten benannt — ein Name, der, wie bei den Schwefelkratern, der provinziellen Terminologie der neapolitanischen Vulkangebiete entstammt. „Unser deutsches Vaterland lehrt uns," sagt A. v. Humboldt [37], „wie in den tief eingeschnittenen Thälern der Eifel, in der Umgebung des Laacher See's, im Kesselthal von Wehr und in dem westlichen Böhmen, gleichsam in den Brandstätten der Vorwelt, oder in ihrer Nähe, sich die Ausströmungen der Kohlensäure, als letzte Regungen der vulkanischen Thätigkeit, offenbaren." Die Menge des — bald kalt, bald erhitzt — ausströmenden Gases ist oft recht beträchtlich; Bischof [38] hat berechnet, dass eine einzige Quelle im Brohlthale pro Jahr 6000 Centner liefere. Vielfach befinden sich die Durchgangsspalten in Grotten, an deren Boden die Kohlensäure, weil sie die atmosphärische Luft an Dichte übertrifft, eine förmliche Schicht bildet. Kleine Thiere, deren Athmungsorgane sich nicht über die Grenzfläche dieser Schicht erheben, fallen in Betäubung und sterben, wenn sie einige Zeit dort zu verbleiben gezwungen sind. Bekannt ist eine solche Höhle in den phlegräischen Feldern bei Neapel, nicht minder die Mofette in der Nähe des Bades Pyrmont. Am öftesten besprochen ist aber wohl das sogenannte „Todesthal" (Guwo Upas) auf Java worden, von dem noch Muncke [39] eine schaudererregende Schilderung entwirft, indess legen die objektiven Berichte neuerer Reisender (Junghuhn's, Bickmore's u. a.) die Annahme nahe, dass jene älteren Beschreibungen ein stark sagenhaftes Gepräge an sich tragen.

e) **Schlammvulkane.** Für diese Kategorie trifft der Name uneigentlicher Vulkane am meisten zu. Diese Salsen, wie man wohl auch sich ausdrückt, entstehen im Geleite erdbebenartiger Erscheinungen; allmählig tritt ein stationärer Zustand ein, es bilden sich kleine Kegel, auf deren Spitze sich ein kleines Wasserbecken zeigt, und aus diesem fliesst lettiger Schlamm, unter periodischer Entwickelung von Wasserstoffgas, Kohlensäure oder Stickgas, nach unten [40]. Die berufensten Salsen sind die Maccaluba's Siziliens (arabisch makhlub = umgestürzt; auf Malta heissen so auch unvulkanische Bodensenkungen) [41]. Zweifellos hat von deren Existenz schon Platon, der ja die Insel zu dreien Malen aufsuchte, Kunde gehabt; schreibt er doch im „Phaedon" (vgl. Kap. II, §. 1) dem die Eingeweide der Erde erfüllenden Pyriphlegethon als Bestandtheil feuchte Schlammströme („ὑγροῦ πηλοῦ ποταμοί") zu. Des Theophrast leider verschollenes und nur von Diogenes Laertius dem Titel nach uns aufbehaltenes Werk „περί ῥύακος ἐν Σικελίᾳ" mag wohl auch für dieses Phänomen wichtige Eröffnungen enthalten haben. Der römische Geograph Solinus gedenkt desselben [42] in einer Weise, welche es ganz leicht kenntlich macht: „Idem ager Agrigentinus eructat limosas scaturigines, et ut venae fontium sufficiunt rivis subministrandis, ita in hac Siciliae parte solo nunquam deficiente, alterna rejectatione terram terra evomit." Auf Italiens Boden begegnen wir Schlammvulkanen bei Modena, bei Canossa, bei Parma u. a. a. O.; heftiger Regen bringt mitunter die Kegel zum Verschwinden, während sie bei Trockniss wohl auch explodiren. Baku, die Insel Trinidad, Java, Borneo, Barbados sind gleich-

falls Schaustätten dieser Art vulkanischer Thätigkeit; auf Island birgt eine am Fusse des Krabla befindliche Höhle siedende Schlammmassen, deren Anblick nach Henderson einen grossartig schauerlichen Eindruck gewährt [43], wogegen anderwärts wiederum die Temperatur der zähen Flüssigkeit eine niedrige ist. Ferner breiten sich Komplexe von Salsen zu beiden Seiten der Meerenge von Kertsch aus, welche aus dem asow'schen in das schwarze Meer führt; die Kraterbecken sind unergründlich tief, stossen aber die Leichen hineingefallener kleiner Thiere nach eingetretener Verwesung regelmässig wieder aus [44]. Unsere geographische Aufzählung runden wir ab durch die Nennung der Schlammvulkane auf der Insel Cheduba an der Küste von Arrakan, bei Dembo in Birma, der Volcanito's von Turbaco in Südamerika, und des siebenbürgischen „Höllenmorastes", welch' letzterer in periodischem Wechsel Schlamm auswirft und Gase aufsteigen lässt [45].

Für die Aktion der Salsen scheint nicht eine und dieselbe unverbrüchliche Grundursache verantwortlich gemacht werden zu dürfen. Jedenfalls ist das Motiv meistentheils kein vulkanisches im gewöhnlichen Sinne. „In manchen Fällen," urtheilt Gümbel [46], der den allerdings zweckmässigeren Namen Schlammsprudel eingeführt wissen möchte, „mag die vulkanische Thätigkeit die Entstehungsbedingungen der Eruptionsgase und der bituminösen Stoffe gleichsam mit sich näher an die Oberfläche gerückt und in die höheren Lagen der Schichtgesteine emporgezogen haben, indem hier ein höherer Grad von Wärme und mit demselben die Bedingung der Umbildung organischer Stoffe sich einstellte. Eine derartige Beziehung zwischen Schlammvulkanen und dem Vulkanismus dürfte namentlich auf Sizilien anzunehmen sein." Umgekehrt will Pilar [47] gerade in dem Auswurfe der Makkaluben nur das Produkt chemischer Vorgänge des Verwesens und Selbstentmischens organisirter Substanzen unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen erblicken, während er für die javanischen Sprudel mit v. Hochstetter [48] annimmt, dass in die Bodenspalten eindringendes Meteorwasser die bereits dem Erstarrungszustande sich nähernden Lavaschichten zu oberflächlichen Eruptionen zu reizen vermöge. M. Wagner hat die Schlammvulkane der Taman'schen Halbinsel genau untersucht und sich dahin schlüssig gemacht (s. o.), dass die von Pallas, Gurief und Kulschin für deren Besonderheiten gegebene Erklärung wohl das Richtige treffe: Das Wasser des nur wenige Werst entfernten Liman dringe in einen unterirdischen Gluthheerd ein, und letzterer veranlasse die Wasserzersetzung, welcher elastische Dämpfe nachfolgen. In der That schliesst der vom Küll-tepe ausgestossene Schlamm Schilfreste und Binsenwurzeln ein, die einzig und allein in den benachbarten Sumpfgewässern gewachsen sein können*).

*) Für eine, wenn auch matte und zersplitterte, so doch immer mehr vulkanische Thätigkeit der Schlammvulkane sprechen anscheinend auch O. Schneider's Beobachtungen an dem sogenannten Schlangenberg in Transkaukasien [49]. Manche Anzeichen deuten darauf, dass dieser Schlammsprudel eine sehr recente Erscheinung ist und erst in historischer Zeit die nunmehr unter ihm verdeckte Begräbnissstätte durchbrochen hat, deren Knochenüberreste gegenwärtig oben auf schwimmen. Auch Pallas und Dubois de Montpereux haben Aehnliches wahrgenommen.

§. 5. **Reihung und Anordnung der eigentlichen Vulkane.** Der erste konsequente Versuch, eine grundsätzliche Scheidung aller wirklichen Feuerberge nach genetischen Normen durchzuführen, rührt von Leopold v. Buch her, der in dem „Ueber die Natur der vulkanischen Erscheinungen auf den kanarischen Inseln und ihre Verbindung mit anderen Vulkanen der Erdfläche“ betitelten Abschnitte seines grossen Reisewerkes [50] die Centralvulkane von den Reihenvulkanen trennte. In die erstere Kategorie [51] ordnete er ein die Liparen, den Aetna, die phlegräischen Felder, Gesammt-Island, die azorischen, kanarischen und kapverdischen Inseln, Ascension, die Gallapogos, Marquesas, Bourbon, die Gesellschafts- und Freundschaftsinseln, eventuell den Demawend, Ararat, die sonstigen armenischen und tartarischen Berge und die seither sehr fraglich gewordenen Vulkane von Kordofân. Die Reihenvulkane sollten sich in zwölf selbstständigen Linien gruppiren [52]: Die griechische Inselreihe, die westaustralische Reihe, die Sundareihe, die molukkisch-philippinische Reihe, die von Japan durch die Kurilen nach Kamtschatka hinüberführende Reihe [53], die Reihe der Aleuten, diejenige der Marianen, diejenige von Chile, Quito, von den Antillen [54], von Guatemala und Mexiko. Diese Klassifikation, welche Buch in einer noch vor der Drucklegung des erwähnten Werkes erschienenen Abhandlung zu begründen gesucht hatte [55], steht allerdings mit den theoretischen Ansichten ihres Urhebers in enger Verbindung, welche (s. u. §. 10) heute viel an ihrem Werthe verloren haben, und so hat dieselbe gegenwärtig auch nicht mehr jene ganz hohe Bedeutung, wie damals, als ihr Humboldt [56] enthusiastisch Beifall zollte, doch entspricht sie immerhin den Thatsachen zu sehr, um nicht, von allen daran sich knüpfenden Hypothesen abgesehen, rein schematisch oder architektonisch ihren Werth zu behaupten. Indess hat schon Fr. Hoffmann, so entschieden auch gerade er zu L. v. Buch's Fahne schwört [57], den Versuch gemacht, den strengen Unterschied zwischen isolirten und gereihten Vulkanen zu verwischen, indem er die Gruppe der liparischen Eilande als verbindendes Zwischenglied zwischen beide Klassen eingeschoben wissen wollte [58]. Charles Darwin erkennt den Gegensatz überhaupt nicht an und definirt sogenannte Centralvulkane als Reihenvulkane von geringer Ausdehnung auf parallelen Spalten [59]. Das Bestreben, einen sozusagen mathematischen Grundgedanken in der Anordnung der irdischen Vulkane zu entdecken, hat in Schriften, wie diejenigen von Ordinaire (Histoire naturelle des volcans, Paris 1802) und Sickler (Ideen zu einem vulkanischen Erdglobus, Weimar 1812) sind, zu Uebertreibungen geführt. Nach einem von Kalkowsky vor dem geographischen Vereine zu Leipzig gehaltenen Vortrage, welchen wir nur aus einer kurzen Notiz kennen, überdecken die Vulkankurven den südlichen Theil Europa's mit einem förmlichen Netzwerke.

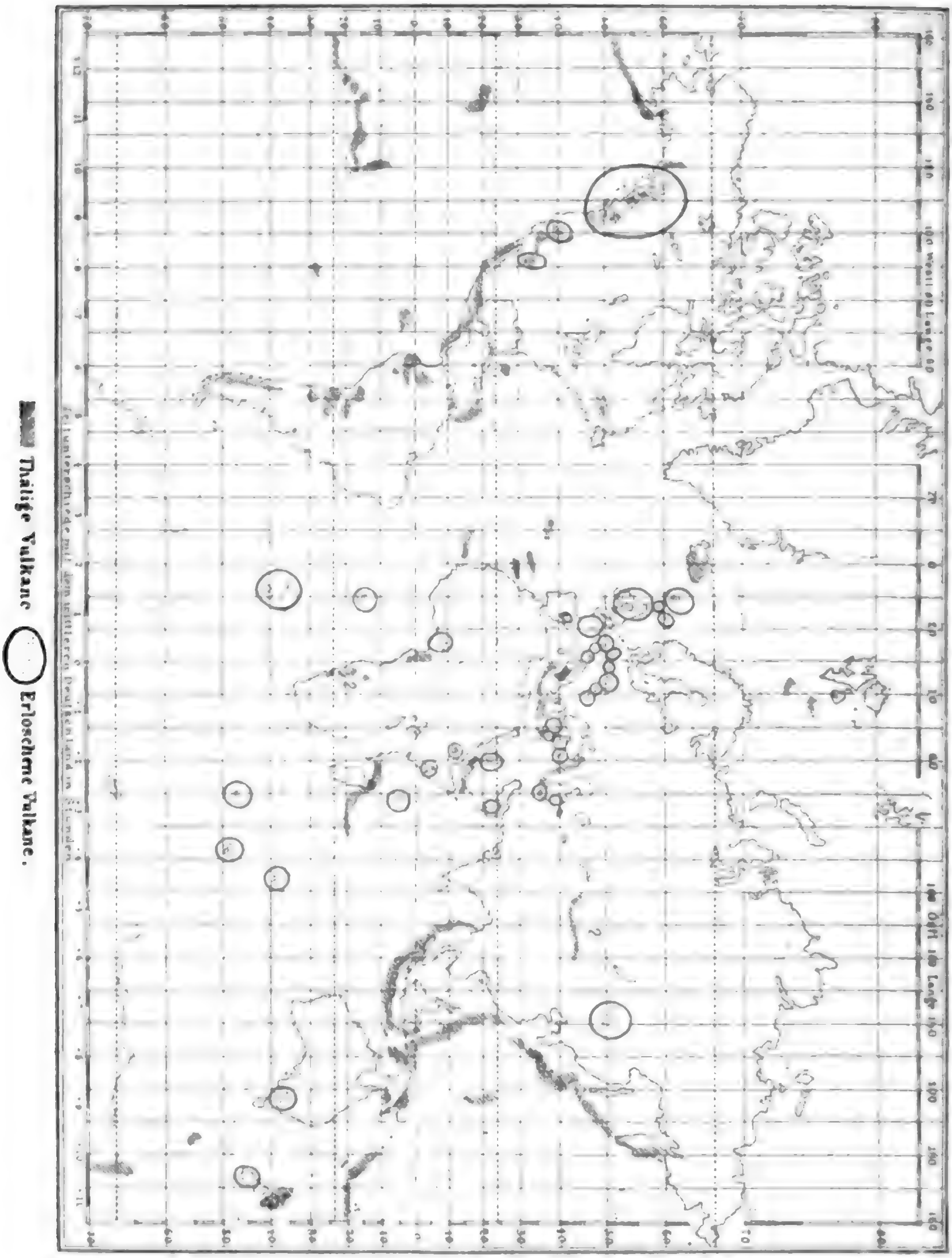
Wichtiger, weil auf unsere modernen vulkanischen Theorieen unmittelbar influirend, ist die Anordnung der feuerspeienden Berge längs den Küsten der Meere oder grosser binnenländischer Wasseransammlungen. Humboldt bemerkt, dass schon Trogus Pompejus, den dann Justinus als Quelle benützte, auf diesen Umstand aufmerksam machte [60], und er theilt weiter eine derselben Wahrnehmung Ausdruck verleihende beachtenswerthe Stelle aus Bembo's Lehrge-

dicht „Aetna dialogus" mit, welches um die Mitte des XVI. Jahrhunderts verfasst wurde [61]. Zweihundert Jahre später erklärt der Indien-Reisende Brunel [62]: „Phaenomena terrifica et horrenda sunt vulcanorum eruptiones et terrae motus, quorum mutuus consensus, caussae et effectus a physicis explicari solent. Terras maritimas iis praecipue obnoxias esse propter copiam ingentem corporum inflammabilium, a mari suffectorum, cujusmodi sulphur et bitumen sunt, res satis nota est." Im gleichen Sinne lautete J. R. Forster's auf grossen Reisen gewonnenes Urtheil. Neuere Untersuchungen brachten der Hauptsache nach Bestätigungen, doch ist darauf zu achten, dass mancher erloschene Vulkan, der nunmehr tief im Festlande liegt, einem Meeresbecken der Tertiärzeit sehr wohl benachbart gewesen sein kann, und solche Erscheinungen würden allerdings keine Ausnahme begründen. Immerhin sind (vgl. die eine Randnote zu §. 4) die Vulkane des Ili-Beckens, welche v. Richthofen an das Gestade eines vorzeitlichen Meeres verlegte, nicht als gesichert zu betrachten, vielleicht die von Stolička im Thian-Schan erkannten Kraterreste ausgenommen [63]. Der Demawend im Albrusgebirge verräth zwar durch seine ganze Bauart, durch seine von Einigen mit der Somma des Vesuv verglichene obere Umwallung und durch aktive Fumarolen seinen vulkanischen Ursprung, dass aber die Rolle des Berges schon lange ausgespielt ist, erhellt schon aus Tietze's Nachweis, es sei die Schichtenstellung der bis zu einer Höhe von 2700 m hinaufreichenden Sedimentbildungen ausser Beziehung zu irgendwelcher vulkanischer Kraftäusserung [64]. Der vorhin erwähnte Dschebel-Koldadschi im Sudân ist schon von Rüppell [65] wieder aus der Reihe der thätigen Vulkane gestrichen worden. Aehnlich ist es mit einem armenischen Vulkan bestellt, den nach einem von Lynch nach London gerichteten Briefe [66] der Konsul Taylor zwischen dem Van-See und dem durch seine heissen Schwefelquellen bekannten Orte Diadyn entdeckt haben wollte. Abich, der die im Lande unter dem Namen „die Ofenberge" wohlbekannten Erhebungen schon früher untersucht hatte, leugnet allerdings nicht deren auffallende Aehnlichkeit mit aktiven Vulkanen, hält auch die Thätigkeit derselben für eine erst seit kurzer Zeit erloschene, konstatirt aber mit Bestimmtheit, dass die Berge zur Zeit nur noch im Solfatarenzustande sich befinden [67]. Die innige Beziehung, welche zwischen der Lage der thätigen Feuerberge und dem Meeresstrande obwaltet, kann als eines der wenigen völlig gesicherten Gesetze der Vulkanologie gelten; am weitesten im Binnenlande liegt wohl der grosse Ararat, der sich aber dafür in der Nachbarschaft der gewaltigen Landseen Hocharmeniens befindet. — Wenn Milne Recht hat, bevorzugen übrigens die Vulkane durchgehends solche Meeresküsten, deren Abfall zur Tiefsee ein besonders steiler ist.

§. 6. **Geographische Vertheilung der Vulkane.** Indem wir uns anschicken, die Ausstreuung der eigentlichen (Strato- und Domvulkane) über die Erdoberfläche festzustellen, müssen wir natürlich einen gewissen Unterschied zwischen thätigen und erloschenen Vulkanen machen, doch darf diese Trennung nicht soweit gehen, beide Gruppen gesondert behandeln zu wollen, da doch der vulkanische Charakter einer Gegend durch das Vorhandensein wirklicher Eruptionskanäle nur

mittelbar bedingt wird. Wir beginnen mit unserem eigenen Erdtheile und verweisen auf die in Fig. 69 vermittelte Skizze der Vulkan-

Fig. 69.



Geographie, welche nach den in den Werken von Poulett Scrope und K. Fuchs enthaltenen Karten gearbeitet ist.

a) **Europa.** Das vulkanreichste Land Europa's ist Italien, durchzogen von einer Vulkankette, deren Glieder aber, mit Einer Ausnahme,

westlich des Apennin gelegen sind [68]. In Mittelitalien deuten der See von Bolsena, die Kuppe von Radikofani, die Seen (Maare) von Nemi und Albano, vor Allem aber der Monte nuovo auf vulkanische Entstehung, während Breislak's Behauptung, dass das alte Rom auf den Kratern erloschener Vulkane erbaut worden sei, in v. Buch einen gefährlichen Gegner gefunden hat [69]. Die Grenze zwischen Mittel- und Unteritalien markirt die vulkanische Rocca monfina, dann folgen die krater- und fumarolenreichen phlegräischen Felder, denen wohl auch die benachbarten Inseln Procida, Vivara und Ischia — letztere mit dem seit 1302 nicht wieder aus seiner Lethargie erwachten Berge Epomeo — zuzurechnen sind. Oestlich des Apennin steht vereinzelt der Vultur [70]. Der wohlbekannte Vesuv am Golfe von Neapel ist der einzige noch rührige Vulkan des europäischen Festlandes; an ihm hat man seiner leichten Zugänglichkeit halber mit Vorliebe vulkanistische Forschungen angestellt, zumal seit unter Palmieri's Leitung [71] ein wohl ausgestattetes Observatorium seinem Krater gegenüber angelegt worden ist. Der Berg hat zwei durch das halbkreisförmige „Atrio del cavallo" getrennte Gipfel, deren einer einen regelmässigen Kegel bildet, während der andere, eine als „Somma" bekannte ringförmige Wand, den Ueberrest des alten, weit grösseren Kraterrandes darstellt. Zur älteren Römerzeit wusste man nichts von den gefährlichen Kräften, die im Inneren des Berges schlummerten, vielmehr erfolgte der erste grosse Ausbruch erst 79 n. Chr.; derselbe verschüttete die den Abhang umlagernden Städte Pompeji, Stabiä und Herculanum und machte den älteren Plinius zum Opfer seines Forschungsdranges. Dann trat wieder Ruhe ein, so dass der letzte Ostgothenfürst Teja den Berggipfel, wie schon vor ihm im Sklavenkriege Spartacus, zum letzten Zufluchtsort für seine Volksgenossen wählen konnte. Seit 1631 kann man die zweite, lebhaftere Periode der eruptiven Thätigkeit des Vulkans datiren, welche von jenem Zeitpunkte an bis 1872 nicht weniger als 33 grosse Ausbrüche lieferte, manche derselben ganze Jahre umfassend [72]. — Von der italienischen Inselwelt sind hierher zu rechnen die Liparen, die Insel Vulcano, bedeckt mit Solfataren und der in seiner Arbeit niemals ermattende Stromboli-Vulkan, der den Schiffern durch den seinen zahlreichen Krateröffnungen bei Nacht entsteigenden Feuerschein zur Landmarke dient. Kleinere Inselchen, wie Pantellaria, Felicudi, Lampedosa u. s. w. seien nur im Vorbeigehen erwähnt. Auf Sardinien finden sich [73] die ausgebrannten Vulkane Monte-Ferru und Ara. Auch die submarin-eruptive Thätigkeit macht sich, wie die Bildung der kurzlebigen Insel Ferdinandea im Jahre 1831 beweist, in den italienischen Meeren geltend. Das grosse Sizilien enthält auch den imposantesten feuerspeienden Berg, den Aetna, der uns durch die von Sartorius v. Waltershausen und den Astronomen C. F. Peters ausgeführte grossartige geologisch-geodätische Mappirungsarbeit [74] wissenschaftlich erschlossen wurde, nachdem schon weit früher der Sizilianer Bembo ihm das uns bereits bekannte Gedicht gewidmet hatte. v. Lasaulx, der das unvollendet gebliebene Werk von Sartorius vollendete, beschreibt auch [75] den allerneuesten Ausbruch des Aetna und kennzeichnet dessen Verschiedenheiten gegenüber früheren Aktionen, theilweise nach Nachrichten des Professors Silvestri in Catania, der sich um seinen heimathlichen Vulkan ähnliche Verdienste

erwerben zu wollen scheint, wie sein Landsmann Palmieri um den Vesuv.

Spanien besitzt nur kleine vulkanische Gebiete in Katalonien und in den zwischen den Balearen und der Küste gelegenen Columbretes-Inseln. Von der Balkanhalbinsel verdient einzig Griechenland Beachtung, namentlich die Cykladengruppe, welche als vulkanische Bestandtheile Milos, Kimolos, Polinos und Nysiros, besonders aber den sehr thätigen Inselvulkan Santorin aufweist [76]. Vom Festlande kommt wesentlich die Halbinsel Methana in Betracht. Nach Reiss und Stübel [77] durchbrachen daselbst zähflüssige Trachyte in vielfacher Aufeinanderfolge die alten Kalkgebirge und häuften sich zu kegelförmigen Rücken auf; das ergossene Material füllte theilweise das Meer an und bildete Inseln. Obwohl seit 2000 Jahren die Ruhe dortselbst nicht mehr unterbrochen ward, möchten die beiden Forscher doch nicht für das vollständige Erloschensein der unterirdischen Regsamkeit einstehen, deren letzte Epoche zweifellos in die historische Zeit fällt.

Russland und Skandinavien entbehren vulkanischer Ueberbleibsel gänzlich, soferne man nicht letzterem auch die Insel Island, das vulkanische Musterland, zurechnen will. Der Hekla im Südwesten, der Krabla oder Krafla im Nordosten der Insel treten am augenfälligsten hervor, doch giebt es überhaupt auf ihr kein vulkanfreies Territorium von grösserer Ausdehnung. Im Südwesten zeigt der Vatna-Jökull massenhafte kleinere Kegel, ferner ist daselbst der Snäfall-Jökull zu nennen, und die Eruption von 1875 gab einem neuen Vulkan, dem Oskjagja, das Leben [78].

Die britischen Inseln haben neuerdings, seit Geikie und Kinahan ihre in §. 3 citirten Untersuchungen veröffentlichten, insoferne die ihnen bisher zuertheilte Stellung geändert, als auf ihnen, namentlich auf den Hebriden, homogene Vulkane vorkommen. — Frankreichs vulkanreichster Bezirk ist die Auvergne, wo nach Fuchs 39 sogenannte „Puys“ oder Pik's bei einander liegen [79]. Nicht weit davon entfernt ist der Vulkandistrikt des Velay und Vivarais, ferner ist das Departement Hérault mit Tuff und Lavaströmen übersäet. — Oesterreich besitzt in Siebenbürgen einige wirkliche Trachytvulkane und im Tokay-Eperies-Gebirge Hügel, welche sich aus Andesitlaven aufbauten [80]. Im böhmisch-schlesischen Grenzgebirge begegnen wir dem Rautenberg, dem Köhlerberg und dem Vulkan von Messendorf; ein isolirter Vulkan erhebt sich im trentschiner Komitat an der mährisch-ungarischen Grenze. Den ebenfalls ganz vereinzelt auf weiter Ebene sich erhebenden Kammerbühl in Nordwestböhmen lehrte uns Goethe durch seinen hübschen und von feiner Naturbeobachtung zeugenden Aufsatz „der Kammerberg bei Eger“ [81] näher kennen, ohne freilich als eifriger Neptunist mit dem Gesehenen sich gehörig auseinandersetzen zu können. Auch Tyrol bietet für die Ergründung der in die geologische Vorzeit hinaufreichenden Vulkane ein reiches Material. „Bei Predazzo in Südtyrol,“ sagt Suess [82], „ist durch das von Nord gegen Süd verlaufende Thal des Avisio und durch das von Osten einmündende Val Travignolo der Schlot eines Vulkans der Triaszeit erschlossen. Es ist eine wunderbare Stelle. Seit im Jahre 1823 Marzari-Pencati die erste Schilderung derselben lieferte, ist sie bis zu dem heutigen Tage der

Schauplatz stets erneuter Forschungen gewesen, und die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ist noch lange nicht geklärt."

Die — sämmtlich in den Ruhestand übergetretenen — Vulkane Deutschlands behandelt Hesse in einer interessanten Monographie [83], die uns für die nachfolgenden kurzen Notizen wesentlich zur Richtschnur gedient hat. Was die Auvergne für Frankreich, das ist für unser Vaterland das Gebiet der Eifel, das Hochplateau zwischen Rhein, Mosel, Rör und Sauer, ein ächter Tummelplatz vulkanischer Kräfte, dessen Name schon etymologisch einen glühenden, brennenden Landstrich bedeuten soll, und von dem nach dem Zeugniss des Trierer Geognosten Steininger der grosse L. v. Buch geäussert hat [84]: „Die Eifel hat ihres Gleichen in der Welt nicht; sie wird auch ihrerseits Führer und Leiter werden, manche andere Gegend zu begreifen, und ihre Kenntniss kann gar nicht umgangen werden, wenn man eine klare Ansicht der vulkanischen Erscheinungen erhalten will." Für alle Uebergänge zwischen Strato- und Domvulkan liefert dieses Gebirge Typen; vor Allem aber sind die im nächsten Paragraphen einlässlicher besprochenen Vulkanseen oder Maare von Wichtigkeit, deren Steininger [85] acht namhaft macht, deren es aber in Wirklichkeit noch weit mehr giebt [86]. Am Rhein zeichnet sich das Siebengebirge durch seine Trachyt- und (in geringerem Maasse) Basaltbildungen aus, rheinaufwärts begegnen wir als von vulkanischen Gängen durchsetzten Gebirgen dem Taunus, Westerwald, der Haardt und dem Kaiserstuhl [87]. Gümbel vindicirt [88] den sämmtlichen Bimssteinen der Rheinlande wo nicht einen einzigen Ursprungspunkt, so doch einen gemeinsamen vulkanischen Heerd, welchen er am Mittelrheine sucht. Schwarzwald, Odenwald und Spessart ziehen den Vulkanforscher weniger an, um so mehr aber der Vogelsberg wegen seiner mächtigen Basaltbedeckung [89]; unweit Giessen erhebt sich der ehemalige Vulkan Aspenkippel. In der Rhön fesseln uns Basalt- und Phonolith-Ergiessungen, während letztere, ebenso wie Trachyt, in dem basaltreichen Fichtelgebirge fehlen [90]. Endlich ist bei der von Gümbel geleiteten geologischen Landesaufnahme des Königreiches Bayern die merkwürdige Entdeckung gemacht worden, dass die einem ehemaligen Seebecken zu vergleichende weite Ebene, die sich von Nördlingen bis zum Hesselberge erstreckt, das sogenannte Riess, von einem durchaus vulkanischen Untergrunde getragen wird [91]*).

b) **Asien.** Von einigen armenischen, persischen und — zweifelhaften — innerasiatischen Vulkanen ist bereits die Rede gewesen. Oestlich von Smyrna breitet sich ein altvulkanisches Gebiet (γῆ κατακεκαυμένη) aus, auch das Taurusgebirge enthält Vulkane. Im Kaukasus erreichen die Vulkangipfel (Elbrus und Kasbek) bedeutende Höhen. Arabien kennt jetzt keine thätigen Vulkane mehr, doch fand noch während des XIII. Jahrhunderts im Sehadô-Thale bei Medina eine furchtbare Eruption statt [93]. Für Hindostan ist nur der submarine Ausbruch bei

---

*) Zwischen Europa und dem eigentlichen Nordpolargebiete liegt als strittiges Territorium die Insel Jan Mayen, deren wir anhangsweise hier gedenken wollen. Dieselbe ist stark vulkanisch; ihre Längsrichtung stimmt nach Kaiser [92] mit der Richtung der vulkanischen Spalte überein, über welcher sie allem Vermuthen nach sich erhebt. Parasitische Vulkankegel lassen auf eine jene Längsspalte rechtwinklig durchsetzende Transversalspalte schliessen.

Pondichery vom Jahre 1757 ganz ausser Zweifel gestellt. Von der indischen Küste an mangelt es dem asiatischen Festlande bis zum äussersten Norden hin ganz und gar an Spuren vulkanischer Manifestationen, dafür weiss von der Halbinsel Kamtschatka Fuchs [94] nicht weniger als zwölf thätige und fünfundzwanzig erloschene Vulkane aufzuzählen, und die Inselwelt erscheint mit diesen in einer für die Einwohner nicht eben erfreulichen Reichhaltigkeit ausgestattet. Die aleutische Inselreihe zählt 48, die kurilische 20 Vulkane [95], Japan endlich ist geradezu das klassische Land der Feuerberge, deren einer, der Fusijama bei Tokio, den Lokalhistorikern zufolge erst im Jahre 286 v. Chr. sich gebildet haben soll [96]. Ueber Formosa mit seinen drei aktiven Vulkanen gelangen wir zu den Philippinen, deren Vulkane, unter welchen der Taal und Mayon hervorragen, von J. Roth für Jagor's Reisewerk beschrieben wurden [97]. An diese Inselgruppe reihen sich die Molukken mit dem sehr lebhaften Gamalama auf Ternate, und an diese wieder die Sunda-Inseln. Auf Sumatra kennt man 19, auf Java 46 solche Berge genauer [98]; am Gunong Tengger sammelte Junghuhn, der eigentliche Begründer der physikalischen Geographie Java's, jene Erfahrungen, die zuerst die Humboldt-Buch'sche Erhebungstheorie in's Wanken brachten [99]. „Die Vulkane auf Java," sagt Bickmore [100], „stehen meist in zwei Reihen; die eine fängt bei Kap St. Nikolas an, dem nordwestlichen Ende der Insel, und geht diagonal über dieselbe bis zu ihrem südöstlichen Vorgebirge an der Strasse von Bali. Die andere läuft dieser parallel und erstreckt sich von der Mitte der Sundastrasse bis zur Südküste in der östlichen Länge von Cheribon." An entsetzliche Ereignisse als Folge von Vulkanausbrüchen ist man im hinterindischen Archipelagus gewöhnt; so soll ein Aschen-, Heisswasser-, Schlamm- und Lavenerguss des Galunggong auf Java vom 8. bis 13. Juli 1822 nicht weniger als zwanzigtausend Menschenleben hingerafft haben [101]. In grausiger Erinnerung steht ferner uns Allen die gigantische Erdumwälzung, welche im August 1883 eine förmliche Neubildung der Sundastrasse bewirkte. Offizielle Beleuchtungen des Ereignisses gehen jetzt allmählig ein, und es scheint, dass die ersten Zeitungsmeldungen die Grösse des Unheils noch übertrieben, immerhin aber ist gewiss, dass auf Java die Ortschaften Pulu Merak, Anjer, Tanara, Kramat verwüstet und auch auf Sumatra Telok Benong, die Hauptstadt des Lampong'schen Distriktes, vollkommen vernichtet wurden [102]. Als Ausgangspunkt des unterirdischen Sturmes dürfte der Vulkan der Insel Kratakaua zu betrachten sein; zwischen diesem Eilande und dem nahen Sebessi sollen sich sechzehn neue Krater aufgethan haben, während der Heerd des Riesenbrandes in Trümmer zerfallen ist. Eine Karte der Veränderungen enthält N. 10 von Bd. IX der Berl. Verh.

c) **Afrika.** Dieser gering entwickelte und dem Eintritt des Meeres sich schroff verschliessende Welttheil ist arm an Vulkanen [103]. An der Guineaküste steigt das mit ehemaligen Kratern reichlicher versehene Camerongebirge auf, welchem die vulkanischen Inseln Fernando Po, St.-Thomé und Annobon als Anhängsel zugerechnet werden müssen. Ob Zambi und Pembo in Südafrika in aktiv-vulkanischem oder blos im Solfatarenzustande sich befinden, steht noch dahin. Ein Vulkankomplex umfasst das nördliche Madagaskar mit 4, die Comoro-

Inseln mit 2 thätigen Vulkanen und die Küste von Mozambique mit einem solchen. Vom Aequator ab ist Afrika's Ostrand mit erloschenen Feuerbergen bedeckt, unter denen auch einzelne noch regsame vorkommen, und ebenso verhält es sich mit Abessynien, wo noch zur Ptolemäerzeit Eruptionen beobachtet worden sein sollen [104]. Ein Kranz vulkanischer Inseln umsäumt die Küste; darunter befindet sich der Vulkan Dukhán, der zum letztenmale 1834 in wirkliche Aktion getreten ist*).

d) **Australien und Polynesien.** Von den zweifellos vorhandenen Vulkanen Neuguinea's hat man ebensowenig wie von denjenigen Neubrittanien's ausreichende Kunde [109]. Neuholland's Kontinent begnügt sich mit den Vulkanhügeln, Kratern und Kraterseen der Kolonie Viktoria. Die polynesischen Inselschwärme weisen thätige und erstorbene Feuerberge zur Genüge auf, so die Salomons-Inseln, die St. Cruz-Inseln, die neuen Hebriden, die Tonga-, Viti-, Schiffer-, Gesellschafts- und Marquesas-Inseln, endlich auch die kleine Oster-Insel mit ihrem Vulkan Otá-iti [110]. Die Marianen enthalten mindestens vier thätige Vulkane. Plutonischen Ursprunges ist auch die Sandwich-Gruppe, deren grösste Insel Hawaï, im Mauna-Kea, Mauna-Wororai, Ponochooha und Mauna-Loa vier sehr merkwürdige Feuerberge besitzt [111]. An Furchtbarkeit und Grossartigkeit der Ausbruchsphänomene wird der letztere wohl von keinem Konkurrenten erreicht, geschweige übertroffen, namentlich zeichnen ihn die einem See vergleichbaren Lavabecken aus, welche mit geschmolzener Lava gefüllt sind. Bei einem seiner letzten Ausbrüche ereignete es sich, dass die Lava volle drei Viertel eines Jahres, vom November 1880 bis zum August 1881, ununterbrochen ausfloss [112].

Neuseeland's vulkanische Thätigkeit koncentrirt sich im Norden; die Südinsel birgt nur einen kleinen vulkanischen Strich mit grossentheils zerstörten Kratern [113]. Dagegen lassen sich auf der Nordinsel drei getrennte vulkanische Bezirke unterscheiden. Die einzigen noch kräftigen Zeugen dereinstiger Riesenkraft sind der Whakari und Tongariro; sie enthalten zwischen sich jenen eigenartigen, mit heissen Quellen und Solfataren bedeckten Flächenraum, welchen v. Hochstetter so anziehend zu schildern wusste [114]. Wir erinnern uns, welchen Gewinn für das Verständniss der Vulkanstruktur gerade die neuseeländischen Vulkane dem genannten Gelehrten gebracht haben (s. o. §. 2).

*) Was dem Kontinent an Reichthum vulkanischer Entwickelung abgeht, ersetzen reichlich die Afrika zugehörigen Inseln im atlantischen Ocean. Die Azoren, welche man mit vielleicht noch mehr Recht freilich für Europa beanspruchen könnte, sind durchweg vulkanische Bauwerke und bekunden diese ihre Herkunft noch jetzt durch unterseeische Eruptionen [105]. Madeira besteht wesentlich aus Tuffschichten, Schlacken und vulkanischer Asche. Für die kanarischen Inseln genügt es, zu sagen, dass auf ihnen, namentlich auf Palma, v. Buch zur Konception seiner jedenfalls grossartigen vulkanistischen Ideen angeregt wurde [106]; der noch immer thätige Pik von Teneriffa ist nach Poulett Scrope [107] durch seine „dreifache Axe" ausgezeichnet. Die Kap-Verden endlich sind gerade jetzt durch die — bereits in Kap. III §. 10 der ersten Abtheilung angeführte — treffliche Arbeit Dölter's [108] in den Vordergrund geologischen Interesses gerückt worden. Dieser Insel-Archipel ist von Dölter als Bestandtheil eines dereinstigen ausgedehnteren Landkomplexes erkannt worden, der aber nicht gerade bis zu den Kanarien und bis zu Madeira sich erstreckt zu haben braucht. Auch St. Helena, Fernando da Noronha, Tristan d'Acunha, St. Paul, Bourbon und Mauritius sind vulkanisch.

e) **Polarregionen.** Im nördlichen Eismeere gebricht es an Vulkanen und vulkanischen Erscheinungen gänzlich. An der Südgrenze des indischen Oceans gegen das südliche Eismeer hin stossen wir dagegen schon auf die theilweise vulkanischen Kerguelen; im südlichen Polarmeere selbst ist Young-Island gewiss, Bukle-Island wahrscheinlich, Sawadowski- und Alexanders-Insel möglicherweise vulkanisch [115]. James Clark Ross entdeckte unter 77° Süderbreite die hohen Zwillingsvulkane Terror und Erebus, deren letzterer Rauch und Flammen ausstiess und offenbar im Stadium hoher Erregung sich befand [116].

f) **Nord- und Centralamerika.** Die Halbinsel Aljaska ist mit fünf Vulkanen ausgerüstet [117]. Dann folgt das vulkanreiche Kaskadengebirge mit einer Reihe himmelanstrebender Gipfel (Eliasberg, Mount-Baker, Mount-Vancouver). Die Sierra Nevada bietet im Monte del Diabolo einen erloschenen Vulkan; solche finden sich auch, und zwar in reicher Menge in den Rocky-Mountains, während unter 27° 9′ Norderbreite die noch vor 150 Jahren thätigen Virgines-Vulkane gelegen sind [118]. Ratzel, der gründlichste Kenner der nordamerikanischen Union, bemerkt [119], dass eigentlich vulkanische Erscheinungen in deren Bereiche nur sparsam vertreten seien, und dass die letzten dort nachweisbaren Eruptionen in die spätere Tertiärzeit fielen. Jüngeren Datums sind ihm zufolge die Yellowstone-Trachyte, noch neueren aber die grossen Basalt-Ergiessungen jener Gegend.

Mexiko hat neun thätige Feuerberge, unter denen sich der hohe Popocatepetl und der uns durch seine Fumarolen bereits bekannte Yorullo auszeichnen [120]. Minder genau bekannt ist die Anzahl und Wirkungsweise der Vulkane in der Gesammtheit der kleineren centralamerikanischen Republiken (Guatimala, San Salvador, Honduras, Nicaragua und Costarica), doch entfaltet sich in ihnen allen der Vulkanismus auf das Mannigfaltigste. Nach M. Wagner „ist für die Gebirge Centralamerika's das ungeheure Ueberwiegen der krystallinischen Massengesteine, der plutonischen und rein vulkanischen Bildungen über die geschichteten Formationen durchaus charakteristisch“ [121]. Unter den von ihm studirten Vulkanen erkennt der genannte Naturforscher dem Turivalva den Preis zu [122].

Die dem Westrande des südamerikanischen Festlandes parallel laufende Andenkette ist reich mit feuerspeienden Bergen besetzt, nur zwischen Quito und Peru und zwischen Peru und Chile ist die Reihe unterbrochen [123]. Es genüge, einige der bekannteren Namen herauszuheben. In Quito erheben sich u. a. der Pinchincha und Cotopaxi, während der vielgenannte Chimborazo kein eigentlicher Vulkan ist, in Peru und Bolivia machen der Uvinas und Illascar am meisten von sich reden, unter den chilenischen Vulkanen ragt der höchste aller bekannten Feuerberge, der Aconcagua, hervor, während an der Küste des Landes auch submarine Bildungen vorkommen. Allerdings bestand über den eigentlichen Charakter des Aconcagua lange keine vollständige Klarheit, doch ist dieselbe vor ganz kurzer Zeit erlangt worden, nachdem einer der unermüdlichsten Forschungsreisenden der Jetztzeit, Güssfeld, gerade diesen Gipfel zum Gegenstande der Erkundung sich auserseben hatte [124].

g) **Amerikanische Inseln.** Die Bahama-Bank erlebte am 25. November 1837 einen unterseeischen Ausbruch. Den kleinen Antillen

erkannte schon L. v. Buch, wie wir in §. 5 erfuhren, die Qualität einer selbstständigen Vulkanreihe zu. Der Insel Dominique sollen nach Fuchs [125] nur Solfataren eignen, doch haben sich dieselben neuerdings durch ihre eigenthümlichen Sand-Eruptionen, deren Material Daubrée näher untersuchte, wohl noch einen höheren Platz in der Stufenleiter der vulkanischen Heerde erworben [126]. Die Great-Mountains der oceanischen Insel Ascension verrathen Basaltergüsse und Absonderungen von Schlacken; offenkundig vulkanischer Natur ist endlich auch der Archipel der Galapagos, über deren Topographie man durch Th. Wolf's Reisebericht [127] das Nähere erfahren hat. —

Hiemit unsere vulkanistische Durchmusterung der Erde beschliessend, bemerken wir noch, dass alle neueren Arbeiten über einzelne Vulkane oder ganze Vulkanzonen sorgfältig in Zöppritz's geophysikalischen Referaten aufgeführt werden [128]*).

§. 7. **Der Eruptions-Akt und die ihn begleitenden Umstände.** Bestimmte Anhaltspunkte dafür, dass ein als thätig bekannter, im Augenblicke jedoch in Ruhe verharrender Feuerberg demnächst wieder seine Thätigkeit aufnehmen werde, fehlen im Allgemeinen oder besitzen doch wenigstens nur eine ganz und gar dem Einzelfalle angepasste Bedeutung [129]. Erdbebenerscheinungen und ein dumpf dröhnendes Rollen im Innern bereiten häufig auf eine Eruption vor, aber keineswegs immer, denn während allerdings die Neubildung der Meeresinsel südwestlich von Sizilien und die Entstehung des Monte nuovo in der Bucht von Bajä, den theilweise auf Augenschein beruhenden Angaben Fr. Hoffmann's zufolge [130], durch heftige Erdstösse angekündigt wurden, sind schon gewaltige Eruptionen des Vesuv und Mauna-Loa ohne derartige Anzeichen erfolgt. Genaue Verfolgung der leisen Erzitterungen des Bodens im Sinne von Palmieri und De Rossi **) wird sich in vulkanischen Ländern immerhin empfehlen. Versiegen der Brunnen und Quellen und Trübung oder chemische Veränderung des Quellwassers ist häufig Vorbote der Eruption, jedoch ebenfalls nicht als zuverlässiges Prognostikon zu erachten. Die meiste Gewähr bietet immer noch die unablässige Beobachtung des Kratergrundes, wo sich Veränderungen, namentlich Hebungen, einzustellen pflegen, wenn eine Aktion im Anzuge ist. In jenen Ländern, wo sich der Ausgang des Eruptionsschlundes oberhalb der Schneegrenze befindet (Island, Kamtschatka, Aljaska), kommt nicht selten der Schnee auf dem stark erhitzten Gestein zu plötzlichem Schmelzen [132]***). Der weit verbreitete

*) Die einzelnen Ausbrüche registriren Tschermak's „Mineralogische Mittheilungen" (Bericht von Fuchs) und ebenso das „Bolletino del Volcanismo Italiano".

**) Mit Hülfe des Mikrophons war es De Rossi moglich [131], durch eine auf seinem Observatorium zu Rocca di Papa angestellte und mehrere Monate umfassende Versuchsreihe zu konstatiren, dass sich die Eruptionen des Vesuv selbst in so grosser Ferne noch fühlbar machen. Das Mikrophon und ein mit demselben in Verbindung gesetztes Aufnahme-Telephon gewähren die Mittel, auch die allerkleinsten vulkanischen Geräusche noch dem Ohre zuzuführen. Das tragische Erdbeben von Ischia gab dem römischen Seismologen Anlass, von Neuem die Vorzüge seines Verfahrens zu empfehlen.

***) Noch Gassendi und Descartes huldigten der Ansicht, schneebedeckte feuerspeiende Berge könne es überhaupt nicht geben, da die innere Wärme den

Glaube von einem Zusammenhange der atmosphärischen Zustände, namentlich des Barometerstandes, mit den vulkanischen Vorgängen ist, wie die monographische Darstellung von Kries [134] des Näheren ausführt, nicht haltbar, obwohl noch v. Buch und v. Humboldt an solche Beziehungen geglaubt hatten.

Den eigentlichen Ausbruchsakt pflegt ein energischer Stoss einzuleiten, dann ringen sich Dampf- und Gasmassen aus dem Schlote hervor, die ohnehin schon im Krater vorhandenen Aschen- und Geröll-Ansammlungen werden in die Lüfte geschleudert, und endlich gelangt die rothglühende eigentliche Lava zum Aufsteigen. Wenn die Spannung der Dämpfe eine grosse, die Kraterwandung dagegen eine dünne ist, so kann es geschehen, dass, um Palmieri's bezeichnenden Ausdruck [135] zu wiederholen, die Lava, ehe sie noch die Mündungsstelle erreicht hat, förmlich durch alle Poren ausschwitzt. Die hinausgestossenen, kugelförmigen Dampfbälle bilden einen nach oben sich mehr und mehr verbreiternden Kegel, welchen die Italiener charakteristisch als Pinie bezeichnen; in deren oberen Partieen ist der Sitz lebhafter elektrischer Ausgleichungsprocesse, durch welche Blitz, Donner und wolkenbruchartige Regengüsse bewirkt werden. Die Barranco's (s. o. §. 2) werden von den letzteren ausgehöhlt. Mit dem Austritt der Lava, welche seltener durch das Mundrohr selber, gewöhnlich aber durch eine unter dem Seitendruck der Flüssigkeit sich öffnende Spalte erfolgt, ist der hier beschriebene typische Akt der Eruption im Wesentlichen beendigt. Das Erscheinen wirklicher Flammen ist vielfach bestritten, von Abich, Pilla und Forbes aber wohl zur Gewissheit erhoben worden [136]. Im Ganzen fehlt es noch einigermassen an genau geführten Beobachtungsregistern, in welchen jede einzelne Phase des durch seine Grossartigkeit die objektive Auffassung beeinträchtigenden Phänomens aufgezeichnet ist, und um so höher sind daher Julius Schmidt's Untersuchungen am Vulkan Santorin [137] zu schätzen. Nur durch solch' unablässige Beobachtungsarbeit wird sich mit der Zeit auch eine Entscheidung über die Frage herbeiführen lassen, ob wirklich in der Periodicität der Lavaergüsse eine Attraktionswirkung des Mondes und der Sonne sich offenbare. J. Schmidt ist [138] dieser Ansicht, der freilich theoretische Bedenken entgegenstehen, nicht ungünstig gestimmt; auch fehlt es nicht an anderen Aussprüchen in diesem Sinne. So beobachtete, nach Phillips' Zeugniss [139], Palmieri im Jahre 1867 beim Ausbruche des Vesuv eine tägliche Periode mit zwei Maximis und Minimis, welche sowohl im Lavaausfluss durch eine Seitenspalte, als auch im Auswurf der Asche aus dem Krater erkennbar gewesen wäre; auch sollen die Eruptionen zur Zeit der Syzygien kräftiger erfolgt sein, als zu derjenigen der Quadraturen. Manche Eruptionen, ja sogar auch manche Vulkane entbehren gänzlich der Lavafluthen, sei es, dass die Verbindung im besonderen Falle nicht bis zu den tiefer gelegenen Magma-Schichten hinabreicht, sei es, dass der Auftrieb nicht ausreicht, die

---

gefallenen Schnee sofort verflüchtigen müsse; wenn man also doch beim Aetna, Hekla u. s. w. Feuerwolken aus dem schneeigen Kegel hervorbrechen sehe, so müsse man an eine Bedeckung von weissem Staube oder dergleichen denken. H. Müller [133] tritt dieser Meinung entgegen.

vorhandene Lava durch die Spitzenöffnung oder durch ein erst zu bildendes seitliches Ausflussloch hindurchzupressen. So fehlen beispielsweise die Lavafelder gänzlich dem Monte nuovo [140].

Jedem Auswurf pflegt eine Periode absoluter, meistentheils jedoch nur relativer Ruhe nachzufolgen; im letzteren Falle strömen allerorts Dämpfe und Gase mit schrillem Pfeifen aus. Man könnte dann (s. o. §. 4) auch von einem anerkannt rührigen Vulkane sagen, er befinde sich momentan im Solfatarenzustande. Der Vulkan verkümmert dann, selbst wenn er nicht, wie es während des Verlaufes der Eruption gar nicht selten geschieht, durch Einstürze an seiner vorherigen Höhe einbüsst. Jagor erzählt [141] von dem Yriga auf Luzon, dass er im XVII. Jahrhundert durch Einsturz aus einem geschlossenen Kesselberg in die durch den Buhi-See ausgefüllte Mulde sich verwandelt habe. Der Dichter Aelian behauptete eine langsame Erniedrigung auch vom Aetna, Strabon und Seneca leugneten dieselbe.

Trifft den Krater also auch nicht eine solch' akute Katastrophe, so verfällt er doch mehr und mehr, wenn er entweder durch Bildung neuer Zuführungskanäle oder durch gänzliche Verstopfung des bisherigen Axenschlotes ausser Wirksamkeit zu treten gezwungen wird. Tritt letztere Alternative ein, so sagt man, der Vulkan sei ausgebrannt oder erloschen. Mehrere Krater desselben Vulkanes können successive von dem nämlichen Schicksale ereilt werden; dann sind die niedrigsten und weitesten auch die ältesten. So schliesst am Gunung-Tengger Java's, wie Junghuhn [142] feststellte, der langgezogene elliptische Kuduwong grossentheils den Segoro-Wedi, und dieser wieder zum Theile den fast kreisrunden Brano ein. Als Ueberreste von ehemals aktiven Kratern scheinen auch die Kraterseen oder Maare (s. o. §. 6) angesehen werden zu müssen, von welchen der Laacher See und das sogenannte Pulvermaar bei Gillenfeld die bekanntesten und ausgezeichnetsten sind, wenigstens ist diess die Ansicht Bischof's, eines der besten Kenner dieser sonderbaren Kesselbildungen [143]. Wir sahen schon oben in §. 4, dass auch A. v. Humboldt die „in den tief eingeschnittenen Thälern der Eifel“ dem Boden entströmende Kohlsensäure als letzte Regung früherer vulkanischer Thätigkeit charakterisirt [144]; ihm sind die Maare, welche er neben die Caldeira's der Azoren stellen möchte, „gleichsam Minentrichter*), Zeugen minenartiger Ausbrüche, in welche nach den Explosionen von heissen Gasarten die ausgestossenen lockeren Massen grösstentheils zurückgefallen sind.“ Andere Forscher freilich, wie vom Rath und Credner, sehen in den Maaren nicht sowohl Ueberreste, als vielmehr Anfänge

*) Es wäre, um Humboldt's Gelegenheitsausspruch zu bestätigen oder zu widerlegen, erwünscht, die Kurve des Durchschnittsprofiles eines Maares mit jener Kurve zu vergleichen, durch deren Umdrehung um eine vertikale Axe der Minentrichter nach Culmann [145] entstanden zu denken ist. Während nämlich alle militärwissenschaftlichen Werke, bis in die zweite Hälfte unseres Jahrhunderts herein, von der unbewiesenen und sonderbaren Annahme ausgiengen, dass die Gestalt des von der Sprengung erzeugten Hohlraumes diejenige eines Rotationsparaboloides sei, führte der genannte berühmte Mechaniker, gestützt auf die Variationsrechnung und auf sehr plausible Annahmen über den Widerstand der Erdschichten, den Nachweis, dass die Meridiankurve des Hohlkörpers nicht, wie man dachte, ihre konkave, sondern vielmehr ihre konvexe Seite der Axe (kürzesten Verbindungslinie des Minencentrums mit dem Erdboden) zuwenden muss.

von Vulkanen; „Maare und Stratovulkane sind durch allmählige Uebergänge verbundene Ausbildungsstufen einer und derselben Entwickelungsreihe“ [146].

§. 8. **Die Eruptionsprodukte.** Die Verschiedenheit der Stoffe, welche vor, in und nach dem eigentlichen Eruptionsakte aus dem Schlunde des Vulkanes ausgeschieden werden, ist eine so überaus grosse, dass es wohl angezeigt ist, dieselben nach den Aggregatzuständen gesondert zu betrachten. Wir gelangen dann zu folgender Uebersicht.

a) **Gase und Dämpfe.** Die Menge dieser elastisch flüssigen Massen ist eine ungeheure, wie sich aus den ungeheuren Höhen ergiebt, zu welchen dieselben nicht selten emporgeschleudert werden. Durch Messungen von Gunlögsen und Vargas Bedemar [147], deren Basis die Ermittelung des Umkreises bildete, innerhalb dessen die über isländischen Vulkanen schwebenden Rauch- und Feuersäulen noch gesehen wurden, ist festgestellt, dass die im Jahre 1783 dem Hekla entströmten Dampfballen gegen 4800 m hoch aufstiegen. Die Hauptrolle spielt der Wasserdampf, der in seiner Kondensation das Material zu den typischen Regenschauern liefert, in welchen so oft das mit dem Ausbruche selbst an Verderblichkeit wetteifernde Nachspiel desselben zu erblicken ist. Die mitgerissenen permanenten Gase setzen sich nach Davy und Bischof [148] wesentlich aus Wasserstoffgas und Kohlensäure nebst Salz- und schwefliger Säure zusammen; was allerdings die Kohlensäure anlangt, so ist dieselbe so häufig in den eigentlichen Gasexhalationen nicht nachgewiesen worden, dass die Möglichkeit, ja sogar eine gewisse Wahrscheinlichkeit besteht, es bilde sich fragliches Gas erst nachgerade, während die Lava im Erkalten begriffen ist [149].

b) **Asche.** Fein vertheilte Asche fehlt bei keiner Eruption, und zwar ist dieselbe eben dieser ihrer Feinheit halber befähigt, in alle Ritzen einzudringen. Ein Aschenregen war es, welcher im Jahre 79 n. Chr. der Stadt Pompeji den Untergang brachte, und da stellt es sich heraus, dass die Asche einen hermetischen Verschluss aller von ihr bedeckten Gegenstände gegen den Zutritt von Luft gebildet und somit jene so trefflich konservirt hat, dass die Archäologen durch Ausgiessen der festgebackenen Aschenmodel vollkommene Abdrücke — selbst von menschlichen Leibern — gewinnen können. Ménard de la Groye [150] dachte sich die Asche durch die Zerreibung der Lavastücke entstanden, indessen wird die im Inneren des Schlundes herrschende Hitze allein schon genügen, unter dem Einflusse des hinzutretenden und sofort in Dampf übergehenden Wassers beliebige Felsarten zu pulverisiren; (vgl. die Ansicht Penck's in §. 12). Kieselerde, schwefelsaures Eisen und schwefelsaurer Kalk scheinen nach den verschiedenen Analysen von Vauquelin, Ferrara u. A. die Hauptingredientien der Vulkanasche zu sein, doch fehlt auch Wasser selten ganz, so dass die Asche gewissermassen den Uebergang vom flüssigen zum festen Aggregatzustande repräsentirt. In der That brechen zuweilen — so am 18. Januar 1793 aus dem Unsen — kochende und dampfende Schlammströme aus dem Inneren des Vulkanes hervor, doch darf man diese nicht verwechseln mit den sehr häufig im Gefolge einer Eruption auftretenden Schlammfluthen, die sich erst ausserhalb des Kraters dadurch

bingen, dass die Vulkanasche durch Regengüsse in einen zähflüssigen Schlamm verwandelt wird. Herrscht zur Zeit des Ausbruches eine lebhaftere Strömung in der Luft, so wird die Asche sehr weit fortgetragen; die Meteorologie hat sogar aus dem Umstande, dass an Stellen, wo man es nicht erwartet hätte, sich Aschenbestandtheile vorfanden, deren Ursprung auf den Pik von Teneriffa hinwies, werthvolle Aufschlüsse über die Richtung des oberen Passatstromes gezogen. Der Aschenregen, welcher die grosse isländische Katastrophe von 1875 begleitete, bedeckte eine Fläche von 5000 Quadratkilometern und gelangte bis nach Norwegen, so dass die Asche, gemäss einer von Mohn angestellten Berechnung, pro Stunde 80,47 km zurückgelegt haben muss [151]. Pogson, Meldrum, Lockyer und v. Bezold (Münchener neueste Nachrichten vom 21. Dezember 1883) halten es nicht für unmöglich, dass das eigenthümliche Phänomen des Nebelglühens, welches an vielen Herbst- und Wintertagen des verwichenen Jahres allerorts in Europa das Interesse weiter Kreise erregte, mit dem enormen Aschenauswurfe der in der Sundastrasse neu gebildeten Vulkane in ursächlichem Zusammenhange steht, resp. stand. Soll doch die Stadt Batavia dadurch in vierzigtägige Finsterniss gehüllt worden sein. v. Bezold erinnert auch daran, dass um die nämliche Zeit, als im Jahre 1831 ein submariner Vulkanausbruch weite Räume des Mittelmeeres durch Aschenmassen verfinsterte, Lichterscheinungen beobachtet wurden, die der vorhin erwähnten auf's Haar glichen und die meteorologische Optik jener Periode ebenso vor ein Räthsel stellten, wie diess auch im gegenwärtigen Falle geschah.

c) **Sand**. Von der feinen, hellgrauen oder leicht in's Röthliche spielenden Asche ist der schwerere, gewöhnlich schwarz glänzende Sand leicht zu unterscheiden. Gröbere und kompaktere Stücke dieses Sandes, die wohl ursprünglich noch in feurig-flüssigem Zustande sich befanden und in ihrer Gestalt den während ihres Erkaltens maassgebend gewesenen Luftwiderstand verrathen, werden als Lapilli bezeichnet; gewöhnlich finden sich darin Augit- und Feldspathkrystalle mit Bimssteinbrocken vermengt [152].

d) **Schlacken und Steine**. Die Gewalt der gespannten Dämpfe vermag Schlackentheile und Gestein, wie es im Zustande der Ruhe die Kraterwandungen bekleidet, bis in unglaubliche Entfernungen fortzuschleudern. Haben die Steine eine annähernd sphärische Gestalt, so spricht man wohl von vulkanischen Bomben. Fuchs [153] identificirt sowohl Lapilli als auch Bomben einfach mit Lavastücken, indess wird, wie wir gleich nachher sehen werden, das Wort „Lava" denn doch besser in einem engeren Sinne gebraucht; allerdings acceptirt auch Fuchs die Erklärung Ménard de la Groye's (s. o.).

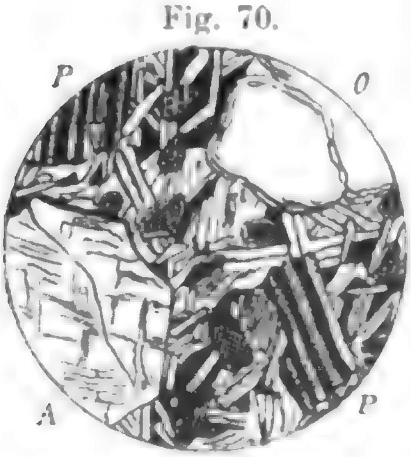
e) **Obsidian und Bimsstein**. Diess sind glasartige Substanzen, erstere von schwarzer, letztere von weisslicher Farbe, und mit muschelförmigem, scharfkantigem Bruche. Sie bilden sich nur aus trachytischen, nicht aber auch aus basaltischen Laven und scheinen einer gewissen Dickflüssigkeit der Lava zu ihrer Entstehung zu bedürfen [154].

f) **Tuffe**. Zusammengepresste Aschen- und Sand-Konglomerate, bei deren Verbindung auch mitunter meteorisches oder Seewasser seine Dienste leiht, heissen Tuffe, und daraus besteht bei den Stratovulkanen die Mittelschicht. Man unterscheidet gemeinen Tuff, Posilipptuff

(aus den phlegräischen Feldern), Peperin, durch Krystalleinschlüsse ausgezeichnet, Trass (im Gebiete der Eifel) und Palagonit, „aus starkveränderten vulkanischen Produkten, mit brauner fettglänzender Färbung, bestehend“. Ueber die Bildung des durch Sartorius v. Waltershausen mit diesem Namen belegten Palagonites, sowie über die daran von dem genannten Gelehrten und von Bunsen geknüpften Hypothesen vergleiche man, ebenso wie über Peperine, eine den Sachverhalt, namentlich unter dem petrographischen Gesichtspunkte, äusserst gründlich erörternde Abhandlung von Penck [155]. Die Tuffe drücken der Umgegend eines Feuerberges den Stempel auf.

g) **Die eigentliche Lava.** Diese ist es, welche bei dem Vorgange der Eruption die Hauptrolle spielt, durch deren Gluth der Reflexionsprocess bedingt ist, welcher die über dem Krater schwebende Rauchsäule oder Pinie zur Nachtzeit in eine Feuersäule umwandelt [156]. „Lava ist“ — nach der präcisen Definition von H. Reusch [157] — „Gesteinsmasse in feurig-flüssigem Zustande, deren Temperatur bei dem Hervorbrechen auf ca. 2000° C. geschätzt wird“; Magma (Kap. II, §. 5) und Lava sind also nur insoferne unterschieden, als der Druck, welcher das erstere im zähflüssigen oder latent-plastischen Zustande festhielt, nunmehr gewichen ist, so dass der Grad der Fluidität ein höherer geworden. Lava ist ein Gesammtname, kaum werden die Laven irgend zweier Feuerberge in allen Punkten übereinstimmen, wie denn v. Buch am Vesuv allein achtzehn Arten derselben auseinanderhalten zu müssen glaubte [158]. Als glasartiger Fluss besitzt die Lava nur ein sehr geringes Wärmeleitungsvermögen; soll doch der 1669 ausgeflossene Strom noch im Jahre 1809 nicht vollständig erkaltet gewesen sein [159]. Die austretenden Gluthmassen fliessen langsam den Abhang des Berges herab, alles organische Leben auf ihrem Wege vernichtend; nach und nach geräth die Strömung in's Stocken, und alle unter der Lava begrabenen Flächenräume erscheinen nunmehr mit einer harten, schwarzen Kruste bedeckt. So ist es z. B. der Stadt Herculanum am Vesuv ergangen, deren Freilegung somit begreiflicherweise mehr Mühe verursacht, als es bei dem blos in einen Aschenmantel gehüllten Pompeji der Fall war. Die Lava theilt sich in poröse, dichte und glasige ein [160]; zu den porösen Laven gehört die nach ihrem Fundorte so genannte, übrigens auch in der Auvergne vorkommende und von Faujas de la Fond [161] bechriebene Puzzolan-Erde.

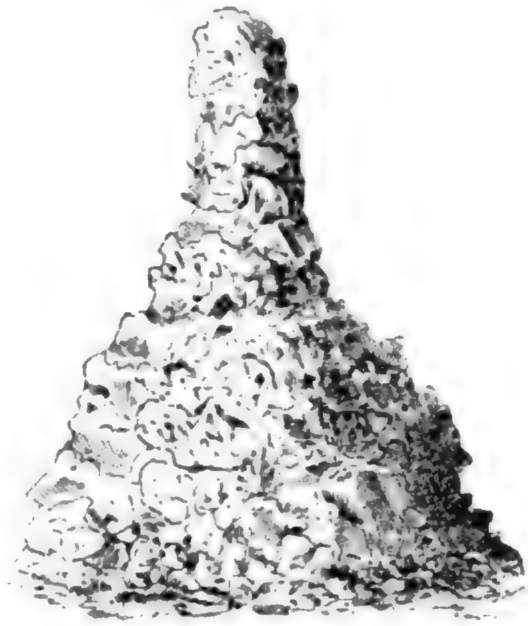
Fig. 70.



Bessere Aufschlüsse noch, als die chemische Zerlegung, gewährt bezüglich der Zusammensetzung der Lava die mineralogisch-mikroskopische Prüfung, welche an Dünnschliffen vorgenommen wird. Fig. 70 stellt einen solchen nach H. Reusch [162] dar. A bedeutet Augit, P Plagioklas mit Doppelstreifung im polarisirten Lichte, O Olivin; dazu kommt noch schwarzes Glas. Die Probe entstammt der Basaltlava von Jan Mayen. Je nach ihrem petrographischen Charakter konsolidirt sich die Lava statt in den sonst an ihr gewohnten Feldern in eigenartigen Formen, von denen in Fig. 71

leinschlüsser auffallendsten abgebildet ist. Poulett Scrope, welchem wir onit, Zeichnung entnehmen, sagt darüber [163]: „When the matter is gläulle more viscous, its accumulation over a minor spiracle occasionally produces a hillock of curring and concentric ridges, or even a dome or spire-like protuberance. Professor Dana describes some of those upon the slopes of Mauna-Loa in Hawaii as actually taking the figure of a column or upright bottle, or a petrified fountain."

Fig. 71.



Das physikalische Verhalten der Lava ist neuerdings von Reyer zum Gegenstande einer gehaltvollen Monographie gemacht worden [164], welcher rasch eine zweite, ebenfalls sehr interessante Schrift [165] nachfolgte. Es wird in denselben, neben Anderem, vorzugsweise von der Absorption gasförmiger Körper durch die Lava gehandelt, welche dann, sowie der Druck nachlässt, ebenso wieder die Freiheit aufsuchen, wie diess die von kohlensauren Mineralwassern eingesogenen Gase thun. Ist das Magma nicht oder nur schwach mit gasförmigen Bestandtheilen imprägnirt, so fliesst es als Lava ruhig und ohne besondere Geräusche aus, wogegen die in stärkerem Maasse beigesellten Gase und Dämpfe eine heftige Wallung der Lavafluthen und jenes kennzeichnende Spratzen der Masse hervorrufen, das man von Silberflüssen her kennt; dieses Wort, ursprünglich ein Provinzialismus, hat mehr und mehr eine feste metallurgische Bedeutung gewonnen. Auch die Lavamassen erloschener Vulkane hat Reyer mit in's Bereich seiner Untersuchung gezogen und u. a. in den keiner glasigen Masse fehlenden Schlieren ein Kriterium für die Frage nachgewiesen, ob krystallinische Gesteine dereinst in wirklichem Flusse sich befanden oder nicht. Im ersteren Falle muss nämlich jede Schliere im Sinne der Fortschreitungsrichtung auseinandergezogen erscheinen.

§. 9. **Aeltere vulkanistische Erklärungsversuche.** Wir gehen nunmehr von dem deskriptiv-geologischen Theile unserer Aufgabe zu deren physikalischem Theile über, wobei wir der hier mehrfach benützten geschichtlichen Zusammenstellungen von Muncke [166] und Reyer [167] mit Dank erwähnen. Die Griechen fanden an den Vulkanen, von denen der Stromboli und Aetna bereits dem Homer und Hesiod bekannt gewesen sein dürften [168], so manchen Punkt, der ihrer Neigung zu naturphilosophischer Spekulation Anhalt bot; von Platon's Versuch, die Eruptionen mit seinem Pyriphlegethon in Verbindung zu bringen, ist bereits in Kap. II, §. 1 die Rede gewesen. Ueberhaupt war man geneigt, die vulkanischen Erscheinungen durch die empedokleische Hypothese eines feuerflüssigen Erdkernes zu erklären und dadurch in ursächlichen Zusammenhang mit den Erdbeben zu bringen [169], wie diess besonders deutlich aus des Philon Schrift über die Unzerstörbarkeit der Welt hervorgeht.

Zahlreichere Belege reiflichen Nachdenkens über Vorkommnisse dieser Art enthält die in naturwissenschaftlicher Beziehung sonst wenig werthvolle römische Literatur. Den in §. 5 erwähnten Trachyt-Durchbruch auf der Halbinsel Methone (jetzt Methana) beschreibt Ovid [170] als eine Hebungs- und Berstungserscheinung und entwickelt dabei Ansichten, „welche“, um mit Humboldt [171] zu reden, „mit denen der neueren Geognosie auf eine merkwürdige Art übereinstimmen.“ Des Lucilius Aetna-Gedicht ist, wie Nehring [172] bemerkt, auf die unmittelbare Aufforderung seines Freundes Seneca hin geschrieben worden und spiegelt deshalb treu die — schon in der Einleitung lobend hervorgehobenen — geodynamischen Ansichten des scharfen Denkers und Beobachters ab. Seneca weicht darin von Platon und Empedokles ab, dass bei ihm nicht das gesammte Erdinnere von feurig-flüssiger Masse erfüllt, letztere vielmehr in einzelnen kleinen Gluthheerden der Erdrinde angesammelt ist, ganz ähnlich, wie sich Hopkins (s. u. §. 12) die Sache vorstellt. Strömen nun durch die Gesteinsadern die meteorischen Gewässer in jenen Heerd ein, so entwickeln sich gespannte Dämpfe („Spiritus“), welche die eigentliche Explosion und Eruption bewirken [173]. Gerade in dieser Annahme spricht sich die korrektere Denkweise des Seneca aus, indem das Alterthum sonst zwischen diesen Vulkangasen und den gewöhnlichen Winden keinen Unterschied zu machen verstand.

Die Kirchenväterzeit versetzte die Lehre vom Centralfeuer mit gewissen christlichen Dogmen. Tertullian erblickt in den Vulkanen wirkliche Bestandtheile und Manifestationen des unterirdischen Höllenfeuers, Minucius Felix, Augustin und Isidor fassen die ersteren als blosse Bilder des letzteren auf [174]. Relativ verdienstlich, weil offenbar von Seneca beeinflusst, ist die Darstellung des Hrabanus Maurus, die mindestens ein Jahrhundert lang die Klosterschulen beherrschte: „Die Vulkane enthalten viel Schwefel und stehen gewöhnlich mit dem Meere in Verbindung. Durch diese Kanäle dringt nun das Wasser ein und drängt die Luft nach oben, diese ihrerseits entfacht den Schwefel zu lebhafterem Brande“ [175]. Eine im Grossen und Ganzen ähnliche Gedankenreihe leitet den Ristoro d'Arezzo [176], der die Erscheinung der heissen Quellen in ganz vulkanistischer Weise deutet. Auffallend ist die geringe Theilnahme, welche die arabischen Schriftsteller für ein so merkwürdiges Phänomen an den Tag legten, denn wenn es auch an autoptischen Erfahrungen fehlen mochte, so hatte man doch durch Edrisi, Massudi und Kazwini Nachrichten über die italienischen, armenischen und hinterindischen Feuerberge. Aber gerade jener letztgenannte Kosmograph weiss über den „Berg von Sizilien“ nichts weiter auszusagen [177], als dass sich auf seiner höchsten Spitze schwefelhaltige Quellen fänden, aus denen Feuer und Rauch ausströme.

Erst im XVII. Jahrhundert kam, wesentlich durch Kircher's „Unterirdische Welt“ [178], wieder neues Leben in die theoretische Vulkanologie; die Grundansicht dieses Buches ist eine rein plutonistische, der Humboldt'schen Ventiltheorie nicht unähnlich. Wesentlich den gleichen Standpunkt nehmen nach Reyer (a. a. O.) Steno, Leibniz, Buffon, Faujas de la Fond und Dolomieu ein. Im Uebrigen kann man unter den massenhaft aufgestellten vulkanistischen Hypothesen,

welche im Verlaufe des vorigen Jahrhunderts und theilweise noch in dem laufenden aufgestellt worden sind, von der später zu erörternden Theorie Cordier's abgesehen, sechs deutlich gesonderte Kategorieen unterscheiden.

a) **Die Parrot'sche Höhlentheorie.** Sämmtliche feuerspeiende Berge sind durch eine — nicht näher bestimmte — Kraft aus der Erdrinde heraus gehoben worden; die entstandenen Hohlräume, deren Grösse G. F. Parrot auf Grund der peruanischen Loth- und Pendelbeobachtungen der französischen Akademiker zu berechnen unternimmt, werden durch nachdringendes Magma hie und da wieder ausgefüllt [179]. Auch Boussingault's Mittheilungen über die Anden-Vulkane erscheinen von analogen Vorstellungen beeinflusst.

b) **Die elektrischen Theorieen.** Der enorme Aufschwung, welchen die Elektricitätslehre zumal in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts nahm, konnte es nahe legen, dem neu erkannten mächtigen Faktor nunmehr bei allen Naturvorgängen eine führende Rolle zuzuschreiben. Als Hauptquelle für diese Anschauung wird gemeiniglich das in mancher Hinsicht verdienstvolle Werk Sir William Hamilton's [180] genannt. Muncke nennt Stuckely, Patrin, Vivenzio und Bertholon de St. Lazare als Hauptvertreter dieser Ansicht [181], welcher der kluge Beccaria nur mit der Einschränkung beipflichtete, dass bei'm Auswurfsakte selber allerdings elektrische Processe im Gange seien [182]. Ampère meint [183], dass jene elektrischen Elementarströme, von welchen er den tellurischen Magnetismus herleitete, wohl auch vulkanistisch sich geltend machen können, doch geht er nicht so weit, deshalb die vulkanischen Erscheinungen ausschliesslich für den Elektromagnetismus in Beschlag nehmen zu wollen.

c) **Die Erdbrand-Theorieen.** In §. 4 dieses Kapitels giengen wir kurz auf die Erdbrände, als auf etwas vom wahren Vulkanismus durchaus Verschiedenes, ein. Diese Verschiedenheit wurde von den Geologen einer früheren Epoche in Abrede gestellt. Da man schon im Alterthum und Mittelalter — man denke an das griechische Feuer — Mischungen von Schwefel, Erdpech, Naphtha, Kalk, Salpeter u. s. w. kannte, welche auch ohne Luftzutritt brannten, so entschieden sich (Reyer a. a. O.) schon die Alchymisten Higius und Capoa für die Annahme solcher Brandsätze im Inneren der Erde; ihnen folgte der Bergmann Agricola. Lister suchte die Grundursache der Vulkanicität in der durch Oxydation erfolgenden Entzündung von Kies und Alaun [184], und der ältere Lémery brachte diese Hypothese der brennenden und eruptiven Schwefelkieslagen zu hohen Ehren [185], indem er den bekannten Vorlesungsversuch ersann, Eisenfeile unterhalb einer dünnen Erdschicht mit Wasser und Schwefel zu vermischen und dadurch einen Miniaturvulkan zu erzeugen. Man vergleiche für diese Auffassung weiter die Schriften von Krüger [186] und Henkel [187], welch' letzterer die in chemischer Hinsicht interessante, weil mit der herrschenden Phlogistontheorie nicht wohl zu vereinbarende Bemerkung macht [188]: „Nicht das Wasser, nicht das Feuer wirken da, sondern die Luftmaterie mit ihrem sanften Anfall, webenden Umgebung und schleichenden Eindringung wirkt und schafft . . . der Kies aber ist die Festung, welche von dem Luftwesen nicht bestürmt, sondern umschlichen und erobert wird.“ Dass auch A. Werner für

die Identität der Vulkane mit brennenden Kohlenflötzen eintrat [1?], kann nicht überraschen, wenn man daran denkt, dass dieser Forsc. bei all' seiner Genialität seinen Blick nicht über den durch die ge- logischen Verhältnisse Sachsens ihm vorgezeichneten Horizont zu erheben vermögend war.

d) **Die eigentlich chemischen Theorieen.** Deren Begründer ist Humphry Davy; er dachte sich die Erde überwiegend aus den Metalloiden Kali, Natron u. s. w. bestehend und verlegte in sie, die durch den Zutritt von Luft und Wasser durchsäuert würden, den Sitz der vulkanischen Thätigkeit [190]. A. v. Humboldt, der gegen Davy's Anschauungen polemisirt, bemerkt übrigens bei dieser Gelegenheit [191], dass jener selbst in späteren Jahren sich von seiner Hypothese losgesagt habe, während Daubeny im Artikel „Volcanic Geology" der „Encyclopaedia Metropolitana" nach wie vor Argumente zu Gunsten derselben herbeizuschaffen bestrebt war. Andere, minder geistvolle Theorieen chemischer Natur brachten Przystanowski [192] und E. Clarke [193] zu Markte, welch' letzterer im Knallgasgebläse ein Seitenstück der vulkanischen Phänomene erkennen wollte. D'Aubuisson dagegen ist mehr im Allgemeinen der Ansicht [194], dass die ununterbrochen in den Eingeweiden der Erde im Gange befindlichen chemischen Zersetzungen und Verbindungen die vulkanische Aktion aufrecht erhielten *). Die Theorie Janecek's wird im nächsten Kapitel (§. 7) zur Erörterung gelangen.

e) **John Herschel's Gleichgewichtstheorie.** Sinkt, durch Sedimentbildung oder eine andere Ursache veranlasst, ein Theil der festen Erdkruste gegen den Mittelpunkt hin, so steigt das an einem Orte vertriebene Magma an einem anderen Orte auf, kommt dort mit Wasserdämpfen in Berührung und bewirkt eine Eruption. Fehlen dagegen an jener Stelle die Dämpfe, so tritt eine Hebung des Landes ein [196].

f) **G. Bischof's kalorische Theorie.** Dieselbe ist von allen bis jetzt besprochenen die einfachste und mit dem mindesten Aufgebote von Mitteln arbeitende. Schon nahe an der Oberfläche herrschen im Inneren der Erde hohe Hitzegrade, und wenn die Oberflächengewässer bis in jene Gegenden hinabgedrungen sind, so bilden sich Wasserdämpfe von genügender Spannkraft, um dünnere Stellen der Rinde zu Spalten zu erweitern und durch diese die Massen geschmolzener Materie, welche dem Orte der Dampfbildung benachbart sind, hinauszuschleudern [197]. Daubeny suchte als Vertreter des Chemismus diese Theorie mit allen Mitteln zu bekämpfen [198].

§. 10. **Die Humboldt-Buch'sche Periode.** Beide Forscher, A. v. Humboldt, wie L. v. Buch, waren, als sie ihre grossen und folgenreichen Entdeckungen antraten, noch nicht im Mindesten aus dem Banne jenes Ideenkreises herausgetreten, in welchem sie A. Werner's Vorlesungen und Demonstrationen an der Freiberger Bergakademie befangen hatten. In den Cordilleren öffnete sich für Humboldt, auf

*) Gay-Lussac sprach seiner vielfach citirten Behauptung, dass anhydride Chloride sich in der Tiefe mit dem einsickernden Wasser verbinden und so vulkanische Ausbrüche bedingen sollten, selbst nur den Werth eines Versuches zu [195]. Doch sieht auch Daubrée in der Hydratbildung eine mächtige Quelle lokaler Wärmeentwickelung.

den Kanarien für Buch eine neue Welt, nachdem der letztere kurz vorher noch den ernsthaften Versuch gemacht hatte, die Trachyt- und Basaltergüsse im französischen Binnenlande (s. o. §. 5) mit seinem neptunistischen Glaubensbekenntniss zu vereinbaren [199]. Seine Betrachtungen über die reihenförmige Verkettung der Vulkane führten ihn dazu [200], grundsätzlich die Eruptionskrater von den Erhebungskratern, als den centralen Aushöhlungen der von ihm so genannten Erhebungsinseln, zu trennen. Mit dieser Auffassung erklärte sich Humboldt vollkommen einverstanden. Den Grundzug seiner Theorie fasst Ewald [201] präcise in folgender Weise zusammen: „Die Vulkane, denen dieser Name zukommt, d. h. diejenigen, durch welche eine mehr oder weniger andauernde Verbindung der Erde mit der Atmosphäre eingeleitet worden ist, haben sich gebildet, indem heisse gespannte Dämpfe aus der Tiefe gegen die darüber befindliche Erdkruste wirkten und dieselbe in erweichtem Zustande blasenförmig auftrieben. Wenn ein auf diese Weise entstehender, im Inneren hohler Berg durch die Gewalt der Dämpfe an seiner Spitze gesprengt wurde, so bildete sich ein mit einem Gipfelkrater versehener Kegelberg, wenn die Sprengung nicht erfolgte, ein Berg von glockenartiger Gestalt, an welchem Ausbrüche, finden sie überhaupt statt, nur seitlich geschehen konnten." Reihenvulkane müssen in Konsequenz hievon auf ein und derselben in's Magma hinabreichenden Spalte gedacht werden.

Wäre dem so, und könnte man sich ganze Kettengebirge im Humboldt'schen Sinne aus solchen Spalten herausgehoben denken — eine Vorstellung, welche Höfler [202] für die meridional verlaufenden Gebirge der Erde durch eine korrektere genetische Erklärung zu verdrängen versucht hat —, so müssten doch gewiss da und dort auf der Erde Längsgebirge zu finden sein, deren Axenrichtungen sich senkrecht durchsetzen. Der grosse Naturforscher fühlte sehr wohl, dass hier ein Kriterium für seine Theorie des Vulkanismus und der Gebirgsbildung liege, und war deshalb hoch erfreut, dass in Centralasien ein meridional verlaufender Gebirgszug, der angebliche Belur-Dagh, von zwei der Richtung des Parallelkreises folgenden Bergketten, dem Küen-Lün und dem Thian-schan, normal gekreuzt werde. Neuere Forschungen an Ort und Stelle, wie sie von Hayward, Fjedschenko und am erfolgreichsten von Sjewjerzow [203] angestellt sind, lösten Humboldt's Gemälde der centralasiatischen Gebirgswelt in ein Phantasiegebilde auf, indem die Verbindung zwischen jenen beiden Parallelzügen keineswegs durch ein Kettengebirg, sondern einzig und allein durch die Hochlandwüste Pamir hergestellt wird. Damit fällt aber eine der wesentlichsten Stützen der Hypothese.

Auch von anderen Seiten her ward dieselbe, die sich jedoch der ungetheilten Anerkennung aller deutscher und auch vieler französischer Geologen, z. B. E. de Beaumont's, zu erfreuen hatte, lebhaft bekämpft, und zwar war England der eigentliche Sitz der gegnerischen Partei. Hier wirkten Lyell, Daubeny, Scrope als Vertreter der uns bereits aus §. 2 bekannten Aufschüttungstheorie [204]. Die von Beaumont letzterer entgegengehaltenen Gründe [205], dass die steilen Abhänge der meisten Vulkane sich mit einer langsam und allmählig vor sich gehenden Bildung der Kegelberge nicht vertrügen, sind durch die Untersuchungen Milne's (s. o. §. 2) wohl als endgültig widerlegt

anzusehen. Als endlich auch die Vulkane der Sandwichinseln [206] und jene der Insel Java von Dana und Junghuhn (s. o. §. 5) als redende Zeugen gegen die Humboldt-Buch'sche Theorie erkannt worden waren, verstummte der Widerspruch mehr und mehr, und Peschel konnte [207] mit einigem Rechte die Anhängerschaft des grossen Dioskurenpaares als eine „unlängst ausgestorbene Geologenschule" bezeichnen.

Wie so häufig, hat man jedoch auch hier über das Ziel hinausgeschossen. Man hielt sich zu strikte an die allerdings die grosse Menge bildenden Stratovulkane und übersah völlig die homogenen Vulkane (s. o. §. 3), deren Bildung durch feurig-flüssige Intrusivmassen denn doch von dem, was sich Buch und Humboldt gedacht hatten, gar nicht so weit abweicht. So stellt denn auch Suess fest, dass in einem allerdings weit beschränkteren Umfange, als diess Leopold v. Buch unter den bestrickenden Eindrücken der kanarischen Somma-Kränze gethan habe, die alte Aufblähungstheorie noch als zu Recht bestehend gelten könne [208], und weist zum Belege hiefür auf die jener Anschauungsweise ganz konform gehaltene Darstellung hin, welche einer der hervorragendsten Vulkanforscher unserer Zeit, Abich, von den morphologischen Verhältnissen zweier armenischer Bergmassen, des Palandokän und des Dary-Dagh, entworfen hat [209].

Man würde hieraus zu schliessen haben, dass die Genesis der Strato- und Domvulkane von Anfang an aus verschiedenen Ursachen herzuleiten und zwischen beiden Gattungen ein grundsätzlicher Gegensatz zu statuiren ist. Verschwiegen soll allerdings nicht werden, dass andere Gelehrte, wie Reyer und Sigmund, eine solche Verschiedenheit nicht anerkennen, sondern die homogenen Vulkane sich als durch unausgesetzte Erosion aus den geschichteten entstanden denken [210]. Namentlich soll auch die Beschaffenheit des Magma's einen entscheidenden Einfluss darauf ausüben, ob der Vulkan einen Krater erhält oder nicht [211].

§. 11. **Die nicht-magmatischen Theorieen der neuesten Zeit.** Bei den Versuchen, die von selbst sich aufdrängende Frage nach der eigentlichen Herkunft der Lavamassen befriedigend zu beantworten, glaubt eine Reihe von Forschern der Annahme eines feurig-flüssigen Gluthbreies im Inneren der Erde, eines Magma's, vollständig entrathen zu können. Schon Cartesius hielt [212] dafür, dass Schmelzprocesse durch zusammenstürzendes Gestein eingeleitet werden könnten, und die folgenden Jahrhunderte haben analoge Theorieen, für welche wir, ihren sonstigen Abweichungen zum Trotz, den Gesammtnamen nicht-magmatisch vorschlagen zu dürfen glauben, weiter ausgebildet. Wir unterscheiden jedoch auch hier dreierlei Unterabtheilungen, deren Benennung man als Nothbehelfe, bis vielleicht eine zutreffendere Terminologie eingeführt sein wird, gelten lassen wolle.

a) **Die Rutschungstheorieen.** Eine solche hat Wettstein [213] aufgestellt. Astronomische Erwägungen bestimmen ihn, anzunehmen, dass alle Erdkörper von einer der Erdrotation entgegengesetzt gerichteten Bewegungstendenz beeinflusst sind, die sich unter dem Aequator am stärksten bemerklich mache. Den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie zufolge werde durch dieses Gleiten und Fortrutschen

der Stoffe nicht blos die Erdwärme im Allgemeinen, sondern auch da und dort eine örtliche Schmelzhitze bedingt, welche sich dann vulkanisch äussere. In Kap. IV, §. 8 der zweiten Abtheilung ward die Grundlage des sonst ganz konsequent gehaltenen Wettstein'schen Lehrgebäudes als eine irrige erkannt, und damit ist wohl auch über die Verwerthung dieser Hypothese für den Vulkanismus der Stab gebrochen. Im Uebrigen sei auf die Widerlegungen von Pilar [214] und Zöppritz [215] hingewiesen, welch' letzterer namentlich bemerkt, dass mit der latent-plastischen Beschaffenheit der inneren Erdschichten die Annahme einer Beweglichkeit der einzelnen Theile absolut unverträglich sei.

Weit weniger noch kann das als genügend erachtet werden, was v. Petrinò über die Entstehung der Berge und der feuerspeienden insbesondere sich zurecht gemacht hat [216]. Er glaubt, dass die Centrifugalkraft in jeden Körper das Bestreben gelegt habe, meridional gegen den Aequator hin fortzuschreiten, und zwar soll unter der Breite φ für einen k Kilogramm wiegenden Körper die Grösse dieses „Tangentialschubes“ durch

$$\frac{0{,}01684 \,.\, k \,.\, \sin 2\varphi}{9{,}78009 + 0{,}03368 \sin^2 \varphi}$$

gegeben sein*). Entstehe dann ein Senkungsfeld, so trete eine „paroxysmenmässige Vorwärtsbewegung der geschichteten Gesteine“ ein, deren Wucht, wenn plötzlich unterbrochen, die stärksten Wärmeentwickelungen bedinge. A. Kirchhoff hat einige Ungeheuerlichkeiten dieser Idee näher beleuchtet [217] und uns dadurch der Pflicht überhoben, an diesem Orte auf dieselbe einzugehen.

b) **Die Einsturztheorieen.** Die Neptunisten, namentlich Volger und Mohr (in seiner „Theorie der Erde“), halten an einem Rutschen, Gleiten und schliesslichen Hinabstürzen einzelner Theile der Erdrinde in radialer Richtung fest. Das ganze Phänomen der Erdwärme braucht nach Mohr [218] gar nicht plutonistisch aufgefasst zu werden. Das atmosphärische Wasser sickert in die Spalten der Kruste ein und löst dadurch den Zusammenhang der Stoffe, welche nunmehr ihrem Gravitationsbestreben nachgeben können; zudem wirkt der Uebergang amorpher in krystallinische Bildungen und die Selbstentmischung der Kohlen u. s. w. als Wärmequelle mit. Fr. Pfaff hat den Versuch, die zum Schmelzen der Felsen erforderliche Hitze in dieser Weise thermodynamisch entstehen lassen zu wollen, treffend widerlegt: Erstens ist nur vom langsamen Niedergleiten und nicht vom gewaltsamen Einsturz die Rede; wäre aber auch letzteres der Fall und man würde nach den Regeln von R. Mayer und Joule das der lebendigen Kraft des herabstürzenden Blockes entsprechende Wärmeäquivalent berechnen, so fände sich freilich ein hoher Werth, der aber, auf die einzelnen Quadratmeter der auftreffenden Fläche ausgetheilt, nicht entfernt

*) Wie sorglos v. Petrinò mit mathematischen Dingen umspringt, beweist allein schon der Umstand, dass er aus der angeführten Formel ein Maximum des Schubes für $\varphi = 45^0$ berechnet, während dasselbe doch erst eintritt für

$$\varphi = \text{arc} \sin \sqrt{\frac{9{,}78009}{2 \,.\, 9{,}78009 + 0{,}03368}}.$$

Zudem steht doch die Resultante aus Centrifugal- und Schwerkraft stets normal auf der Niveaufläche.

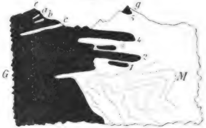
an jene Temperaturgrade hinanreicht, welche die Lava thatsächlich besitzt [219].

c) **Die Kontraktions- und Fältelungstheorieen.** Der eigentliche Vater dieser Lehre, die zweifellos auf einen höheren Grad wissenschaftlicher Durchbildung und Bedeutung Anspruch machen kann, ist der Engländer Mallet, der dieselbe in einer inhaltsreichen Abhandlung [220] und später in einem selbstständigen Werke vorgetragen hat, das wir durch v. Lasaulx' Vermittelung auch in deutschem Gewande [221] besitzen; höchstens könnte C. Prévost's Theorie der Erdbildung [222] als eine Art von Vorläuferin gelten. Suess in seiner berühmten ersten Arbeit über Gebirgsbildung [223], Geikie [224] und neuerdings Reusch [225] haben ähnliche Ideen entwickelt, während von Scrope [226] und J. Roth [227] der Widerstand gegen dieses nicht-magmatische, sondern vielmehr geotektonische System des Vulkanismus organisirt wurde.

Mallet nimmt seinen Ausgang von der allseitig zugestandenen Thatsache, dass unser Erdkörper in einem noch immer andauernden Zustande der Abkühlung und Kontraktion sich befinde. Doch werden in diesem Zustande vier verschiedene Perioden auseinandergehalten. Zuerst entsteht eine dünne, biegsame und deshalb auch leicht deformirbare Kruste; alsdann muss dieselbe aufbersten, es müssen sich partielle Wasseransammlungen bilden, während das Erdsphäroid im Ganzen noch rothglühend ist; im dritten Stadium verdickt sich die Kruste, es tritt ein bemerkbarer Tangentialschub ein, die Oberfläche nimmt in den Grundzügen bereits ihre noch heute wahrnehmbare Konfiguration an; zum vierten endlich ist die Rinde dick und starr geworden, die weitere Abkühlung und Zusammenziehung geht nur in sehr langsamem Tempo vor sich. In diesem Zustande soll sich die Erde heutzutage befinden. Obwohl aber die Verhältnisse sich so sehr konsolidirt haben, ist doch den während der früheren Perioden allmählig herausgebildeten Linien des geringsten Widerstandes diese ihre Eigenschaft verblieben. Längs dieser Kurven, deren eine sich um den stillen Ocean herumzieht, tritt eine unausgesetzte Zerdrückung und Zerknickung der Gesteinsmassen ein, und diese Arbeit verwandelt sich an Ort und Stelle in eine Wärme, gross genug, um das feste Material in geschmolzene Lava überzuführen, und mittelst dieser verwandelt sich in einem Kreisprocesse die Wärme zurück in mechanische Arbeit, nämlich in das Hinausschleudern der Lavamassen. Diess ist nur der Grundgedanke des Mallet'schen Systems; derselbe wird, mehrfach mit Anklängen an die Wettsteinsche Hypothese, weiter ausgeführt. Roth wirft besonders ein [228], dass sowohl Mallet's Kalkul, wie seine geologischen Experimente mit illusorischen Voraussetzungen operirten, letztere deshalb, weil die Verhältnisse durchfeuchteter — im neueren Sprachgebrauche latentplastischer — Gesteine ganz andere seien, als diejenigen trockener. Auch nehme der unzweifelhaft geführte Nachweis, dass es schon zur Triaszeit Vulkane gegeben habe — man denke nur an jenen von Predazzo (§. 5) — dieser Theorie eine Stütze weg, da sie ja den Vulkanismus ausschliesslich den recenten Erdbildungsperioden vorbehalten wissen wolle. Endlich sei ganz unerklärlich, dass die grösste aller gehobenen Festlandflächen, Innerasien, der Vulkane gänzlich entbehre. — Eine genügende Antwort auf diese Einwände dürfte noch nicht gegeben sein.

H. Reusch führt dagegen die Idee Mallet's nach einer anderen Seite weiter aus, indem er dieselbe mit jenen eigenartigen Veränderungen in der petrographischen Beschaffenheit der Felsarten in Verbindung bringt, welche man als Regional- und als Kontakt-Metamorphismus kennt, und zugleich auf die neueren — in Kap. II der achten Hauptabtheilung näher zu erörternden — Untersuchungen der schweizerischen Geologen A. Heim und Baltzer über die Faltenbildung innerhalb der Erdrinde Bezug nimmt. „Hierbei werden das Grundgebirge und die regional-metamorphosirten Gesteine lokal in erhitztem Zustande vom Erdinneren zu einem höheren Niveau getrieben, als ihre ursprüngliche Lagerstätte war, während durch die Faltung diese Gesteine zugleich noch höher erhitzt werden. Die Bildung von Spalten, durch welche die Erdrinde in Stücke zertheilt wird, begleitet die Faltung. Durch dieselben erhalten die von komprimirten Gasen und Dämpfen erfüllten, bis und über Schmelztemperatur erhitzten Massen Ausgang. Diese Massen werden sowohl von Gesteinen der archäischen Formation, deren Bildungsweise hierbei ausser Betracht bleiben kann, als wohl auch von regional-metamorphosirten Schichten, deren ursprüngliche Beschaffenheit während des Erhitzens (Diffusion) verloren gegangen, ausgemacht [229].“ Fig. 72 stellt nach A. Baltzer*) dar, wie zwischen dem Engelhorn (e) und dem Gstellihorn (g) im Berner Oberlande die Schichten des schwarz angelegten Gneisses (G) und des weiss gelassenen Malmes (M) in einander übergreifen, während a, b, c isolirte Malmnester im Gneiss, 1, 2, 3, 4, 5 isolirte Gneisskomplexe im Malm signalisiren. Dadurch soll auch erklärt werden, wie es kommt, dass ein und derselbe Vulkan in verschiedenen Zeiten Materialien von sehr verschiedenem Charakter auszuwerfen vermag [231]. So ganz rathlos dürfte bei richtiger Auffassung des Schlagwortes doch auch die auf das „Magma“ (Kap. II, §. 4) zurückgreifende Theorie der fraglichen Thatsache wohl nicht gegenüberstehen. Wir wenden uns nunmehr dieser Theorie oder, besser gesagt, der Gesammtheit der unter den Begriff „magmatisch“ fallenden Hypothesen zu.

Fig. 72.



§. 12. **Die magmatischen Theorieen der neuesten Zeit.** Aus der Kant-Laplace'schen Nebulartheorie folgt für Jedermann, der sich mit der geistvollen Interpretation derselben durch Tschermak [232] einverstanden erklärt, dass der Vulkanismus nicht blos ein begrenzt-tellurisches, sondern ein kosmisches Phänomen darstellt. Die Meteorite

*) Gegen die Ergebnisse dieses Forschers, wie auch Heim's, hat Fr. Pfaff sowohl in der Vereinszeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, als auch in einer besonderen Schrift [230] energisch Widerspruch erhoben, indem er namentlich behauptete, dass die bekannten Zeichnungen der Faltenstruktur zwar einer geistreichen Kombination, nicht aber dem wirklichen Verhalten der Natur entsprächen. Ganz unerwarteterweise beginnt Fr. Pfaff dem Wasser eine äusserst einflussreiche Rolle bei allen geologischen Vorgängen anzuweisen.

(Kap. II, §. 13 der ersten Abtheilung) haben mit den irdischen Eruptionsprodukten grosse Aehnlichkeit; sie mögen — freilich nicht vom Monde — wohl aber von noch gluthflüssigen Weltkörpern herstammen, in welchen explosionsfähige Gase eingeschlossen sind. „Die vulkanische Thätigkeit," sagt Tschermak [233], „deren Zeugen jene geheimnissvollen Stein- und Eisenmassen gewesen, lässt sich vergleichen mit den heftigen Bewegungen in den äusseren Schichten der Sonne, mit den schwächlichen vulkanischen Regungen auf der Erde, mit den grossartigen eruptiven Erscheinungen, von denen uns die Mondkrater erzählen*)." Ist dem aber so, dann ist für die Existenz eines Magma's, wie auch Zöppritz [235] betont, ein neuer und gewichtiger Beleg gewonnen. Auch Suess, der in seinen uns bekannten beiden Werken die Schrumpfungstheorie in genialer Weise vertritt, räumt trotzdem das Vorhandensein jenes festflüssigen Uebergangskörpers ein, indem er durch dessen anfängliche Intrusion und nachmalige Erstarrung die Bildung der sogenannten Baccolithe, dieser mächtigen Pfeiler und Träger späterer Gebirgsbildung, erklärt [236]. Endlich hat (vgl. §. 8) Penck die vulkanischen Eruptionsprodukte als natürliche Abkömmlinge eines Magma's hinzustellen gewusst: „Die Bildung von Bomben, Lapilli, Sanden und Aschen könnte man mit dem Aufschäumen einer Flüssigkeit vergleichen. Ist die Flüssigkeit sehr beweglich, so reissen die entweichenden Gase Theile der Flüssigkeit mit sich fort. Ist die Flüssigkeit zähe, oder die Gasentwickelung ruhiger, so wird sie über die Wandungen eines niedrigen Gefässes überschäumen, in einem hohen dagegen wird sie zerstäubt werden. Zur Bildung vulkanischer Auswürflinge ist also nichts weiter nöthig, a priori, als ein Magma, aus dem Gase entweichen" [237]. Wir sehen: Während auf der einen Seite gewisse Momente des Eruptionsaktes sich mittelst der magmatischen Vorstellungsweise am Ungezwungensten erklären lassen, drängt das Bestreben, die Eruption als Ganzes überhaupt kausal zu verstehen, auf die Annahme hin, dass jenseits der starren Erdkruste eine in feuriger Wallung befindliche Schicht beginne. Darüber aber, wie man sich auch in diesem Falle den vulkanischen Process zu denken habe, sind noch immer Verschiedenheiten in der Auffassung möglich.

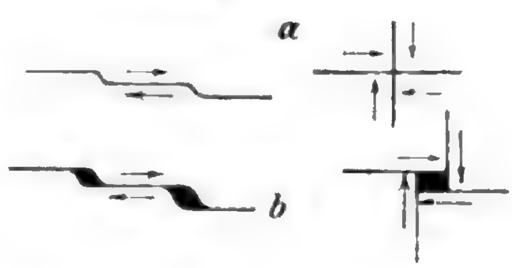
Zirkel, der sozusagen einen vermittelnden Standpunkt gegenüber der im vorigen Paragraphen gekennzeichneten Lehrmeinung einnimmt, gesteht der Kontraktionstheorie die Spaltenbildung in der Erdkruste zu, glaubt aber, dass bei weiterer Zusammenziehung die Lava durch eben diese Spalten in die Höhe gepresst werden müsse [238]. Sein Differenzpunkt im Verhältniss zu Mallet ist also, bei Licht besehen.

---

*) Bemerkt sei, dass Tschermak die von Carpenter-Nasmyth entwickelte und in Kap. III, §. 11 der ersten Abtheilung dieses Buches auseinandergesetzte Deutung des lunaren Vulkanismus missbilligt. Er meint, dass, wenn diese (im Grunde der Mallet'schen Theorie analoge und für den anscheinend schon völlig ausgebrannten Mond auch erheblich annehmbarere) Hypothese der Wahrheit entspreche, dass dann auch bei der Zusammenziehung des sich seinem Gefrierpunkte nähernden Wassers eruptive Erscheinungen sammt Kraterbildung beobachtet werden müssten, was doch noch niemals der Fall gewesen sei. Es ist doch fraglich, ob nicht die so höchst eigenartigen Gebilde, welche Hagenbach-Bischoff beim Zerspringen einer mit Wasser gefüllten und der Frostwirkung ausgesetzten Bombe erhielt [234], als Belege gegen Tschermak's Behauptung in's Gefecht geführt werden könnten.

nur der, dass er die Massen, welche die Lava liefern, schon von vorn herein bestehen lässt, während jener sie erst aus dem Akte der Kontraktion selbst herleitet. Man scheint übersehen zu haben, dass die von einem der um die Physik des Erdinneren verdientesten Physiker einer früheren Periode, von Cordier, in einem eigenen Werke [239] formulirte Hypothese ganz auf das Gleiche hinauskommt (vgl. §. 9). Aehnlich urtheilt der Oxforder Geologe Prestwich [240], der in dem eindringenden Wasser zwar nicht die bestimmende Ursache des Ausbruches selber, wohl aber der meisten begleitenden Umstände desselben erblicken will. Durch diese Charakterisirung des Wassers tritt Prestwich in einen gewissen Gegensatz zu Dücker [241], der dem Glauben huldigt, dass ohne den Eintritt des Meerwassers, welcher durch die Spalten in die von der Zusammenziehung der Kruste geschaffenen Hohlräume erfolgt, der Anstoss zu der den Ausbruchsakt einleitenden Explosion gar nicht gegeben werden könnte. Pilar giebt zu bedenken, dass solch direkte Spalten-Eruptionen, die ohne unmittelbares vertikales Niedersteigen der Risse bis zur Oberfläche des Magma's nicht denkbar wären, zwar nicht geradezu unmöglich, gewiss aber zu den Seltenheiten zu zählen seien [242]. Dass auf diese Art Daueröffnungen, die nicht bald wieder durch laterale Schiebung geschlossen würden, entstehen könnten, erscheint ihm völlig ausgeschlossen, wohl aber hält er es für möglich, dass die Aufdrückung sogenannter Quetschfalten zur Bildung dauerhafterer Schlöte führen könne. Der Bau der japanesischen Feuerberge lasse solche Haupt- und darauf senkrechte Nebenspalten unschwer erkennen. Fig. 73 a und b, die wohl ohne Erläuterung für sich selbst spricht, bringt die gezwungene Oeffnung derartiger Schlünde im Sinne Pilar's zur Anschauung. Für Pilar's Hypothese spricht entschieden der Umstand, dass deren Urheber aus ihr eine Ansammlung der Vulkane an den steil geböschten Seiten der Längsgebirge zu einer Zeit folgerte, da ihm Milne's bezügliche Erfahrungen (s. o. §. 5) noch gar nicht bekannt sein konnten. Bei all' diesen Theorieen ist die Frage, ob das Magma eine so beträchtliche Ausdehnung besitzt, wie wir in §. 5 des vorigen Kapitels feststellen zu können glaubten, nur eine untergeordnete. Man könnte auch Hopkins folgen, der (s. Kap. II, §. 5) zwar die Erde für wesentlich starr erklärte, gleichwohl aber, eben des vulkanischen Phänomens halber, die Existenz lokaler Lava-Reservoirs im Inneren der Erde zulassen wollte und von Thomson wegen dieser seiner Annahme keinen Widerspruch erfuhr. Man ist über diese Hypothese, die auch durch unseren Versuch, für das Magma eine weit grössere Ausdehnung zu retten, keineswegs beseitigt wird, vielleicht etwas zu schnell zur Tagesordnung übergegangen, denn neuere Untersuchungen, die Dutton an den Bruchfeldern der Hochplateaux westlich der Rocky Mountains gemacht hat [243], bedingen ein Zurückgreifen auf Hopkins' Vorstellungen. Wenigstens lässt in diesem Sinne Suess sein gewichtiges Urtheil vernehmen [244]: „Nach Dutton werden solche Behälter, sie werden Maculae genannt, im Inneren der Erde neu gebildet, und es wird die von Cl. King neuerlich betonte Ansicht

Fig. 73.



vom Flüssigwerden durch Verminderung des Druckes mit dieser Voraussetzung in Verbindung gebracht.“ Dass Dutton persönlich den Inhalt dieser Lavanester nicht, wie Hopkins, aus dem ehemals gluthflüssigen Zustande des gesammten Erdinneren abgeleitet wissen will, thut nichts zur Sache selber; vielleicht begünstigen derartige Hohlräume auch das örtliche Einsinken oder — nach Reyer — Nachsacken des Vulkanes und des angrenzenden Gebirges.

Persönlich würden wir, wie heute die Dinge liegen, den mit den Gasexplosionen des Magma's als mit der eigentlichen causa movens der vulkanischen Phänomene rechnenden Theorieen den Vorzug geben. In diesem Sinne hat Sollas [245] unlängst eine leider nur ganz kurze Andeutung gegeben; im Magma befinden sich grosse Quantitäten Wasserdampfes eingeschlossen, welche sich sofort wieder aus demselben losringen, sobald irgendwo der auf der Oberfläche lastende Druck nachlässt, sobald also plötzlich eine (Seiten-)Spalte sich öffnet. Mit Pilars Quetschfalten verträgt sich diese Ansicht ganz gut; doch ist noch darauf aufmerksam zu machen, dass nach der neuen vulkanistischen Theorie von Siemens (s. Kap. II, §. 3) das durch Verdampfung eingedrungenen Wassers entstandene Dampfquantum sich als viel zu geringe erweist, um so gewaltige Explosionen liefern zu können, dass vielmehr von der Annahme nicht Umgang genommen werden kann, es müssten auch brennbare Wasserstoffverbindungen unmittelbar aus dem Magma ausgeschieden werden und im Rohre des Kraters mit in die Höhe steigen. Sehr treffend schildert auch Reyer am Schlusse seines uns wohlbekannten geschichtlich-kritischen Essay's die Reihenfolge der in ihrer Gesammtheit als Vulkanausbruch bezeichneten Ereignisse. Durch die Kontraktion der Erdkruste werden Verwerfungen und Spaltbildungen erzeugt, ohne welche das Emporsteigen und die Zerstäubung der Magma-Gase nicht möglich wäre. Er spielt dabei auf eine passend gewählte Analogie aus der Physik des alltäglichen Lebens an: „Wie die gespannte Kohlensäure im Syphon das Aufsteigen und Sprudeln des Säuerlings, nicht aber dessen Durchbruch durch das Ventil bewirkt, so verursachen die Gase im Magma allerdings auch das Aufsteigen und Zerstäuben des Gluthbreies, sind aber nicht im Stande, sich selbst das Loch oder, besser gesagt, die Spalte bis an die Erdoberfläche zu machen.“

Dass diese Analyse des verwickelten Processes alle Schwierigkeiten kläre und hebe, welche der Vulkanismus schon heute in sich schliesst und voraussichtlich trotz aller Bemühungen noch ferner in sich schliessen wird, soll nicht behauptet werden, wiewohl keine andere Theorie mehr leisten dürfte. Sei dem aber, wie ihm wolle, soviel steht zu hoffen, dass die den Zusammenhang der Wissenschaften unter sich leugnende Auffassung von Reusch*) ebenso energisch von den Vertretern aller betheiligten Disciplinen desavouirt werden werde. Die

*) Folgendes sind seine Worte [246]: „Es ist überhaupt an der Zeit, dass es nicht mehr in demselben Grade, wie früher, den räsonnirenden Physikern überlassen wird, die Frage von der Ursache des Vulkanismus zu beantworten. Das Problem ist naturhistorisch und muss in erster Linie von den beobachtenden Naturhistorikern, in diesem Falle also den Geologen, behandelt werden.“ Nur die Eine Frage: Ist Reyer's Schrift über die Eruptivgesteine eine physikalische oder geologische? Doch wohl beides!

Lehre von den vulkanischen Erscheinungen kann nur von jenem steten Ineinandergreifen der mathematischen, experimentellen und — im engeren Sinne — beschreibenden Geologie weitere Erfolge erwarten, durch welches sie ihren heutigen und ganz gewiss nicht verächtlichen Wissensstand erreicht hat.

§. 13. **Die vegetative Bekleidung der Vulkane.** Die Flora der feuerspeienden Berge mit den geologischen Besonderheiten der letzteren in organischen Zusammenhang zu bringen, ist in neuerer Zeit mit grossem Glücke versucht worden. Es ist vielleicht schon kein blosser Zufall, dass ein solcher Berg, der Aetna, zuerst es war, an dem Bembo seine vergleichenden Studien über die vertikale Anordnung der Pflanzenformen und über deren Aehnlichkeit mit dem Wechsel der Vegetation in meridionaler Richtung anstellte [247], vielleicht auch kein Zufall, dass das vulkanreichste Land der Erde, Japan, den Anstoss zum erstmaligen Gebrauch des Wortes „Pflanzengeographie" (Menzel) gegeben hat [248]. Dass die intensivere Wärme der von dem Kraterrohre nur durch dünne Wände getrennten Abhänge sich auch in dem floristischen Charakter dieser Aussenseite geltend machen könne, soll jedenfalls nicht principiell in Abrede gestellt werden, obwohl man nicht, wie geschehen (vgl. die Randnote in §. 5 und A. v. Humboldt's Bemerkungen [249] über die Schneelosigkeit des Aconcagua und Cotopaxi), der doch sehr häufig intermittirenden Thätigkeit der Vulkane allzuviel aufzubürden berechtigt ist. Dass die innere Wärme solcher Berge eine agronomische Bedeutung habe, ist allerdings ein allgemeiner Glaube; „auf vulkanischem Boden gedeiht die Rebe", sagt Scheffel im „Ekkehard". Was hier zum Schlusse erörtert werden soll, bezieht sich auf eine Reihe exakter Beobachtungsresultate Rein's [250], die allerdings auch wieder in keinem anderen Lande, als auf den japanischen Inseln, gewonnen worden sind.

In der Meteorologie wird sich uns Gelegenheit geben, den auf verhältnissmässig rasch vor sich gehender Erwärmung und Wiedererkaltung gewisser Landpartieen beruhenden Gegensatz zwischen Land- und Seewinden auf der einen und zwischen Berg- und Thalwinden auf der anderen Seite zu studiren. Dieser letztgenannte Windwechsel macht sich nun an den japanischen Vulkanen deshalb besonders bemerklich, weil das vulkanische Gestein durch seine Eigenwärme die Aktion der Sonnenstrahlen energisch unterstützt und dadurch eine besonders lebhafte Auflockerung der darüber ruhenden Luftschichten bewirkt, durch welche dann auch wieder ein starker bergaufwärts wehender Strom bedingt wird. Diesem folgend, schreitet die Vegetation von der Thalsohle nach dem Gipfel zu in die Höhe. Jene Arten, welche einen alpin-polaren Charakter besitzen, steigen am höchsten und benützen jede Aufschüttung eines neuen Eruptionskegels, um an diesem noch höher hinaufzusteigen. Am weitesten entfernt vom Seespiegel begegnet man Pflanzen sibirischen und kamtschatkalischen Ursprunges, welche durch Monsune und Meeresströmungen an die Küsten des Inselreiches gelangt und dort dem Thalwinde überantwortet waren. Nach Rein (a. a. O.) ist „in manchen Fällen die Beschaffenheit der Vegetation ein viel wichtigeres, viel sichereres Kriterion für das relative Alter der einzelnen Kratere, als die des Gesteines".

[1] The Poulett Scrope, Volcanos; the character of their phenomena etc., London 1872. S. 6. — [2] H. Müller, De montibus ignivomis seu vulcanis, Altdorfi 1710. S. 3. — [3] v. Seebach, Vorläufige Mittheilung über die typischen Verschiedenheiten im Bau der Vulkane und deren Ursache, Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellsch., 18. Band. S. 643 ff. — [4] Poulett Scrope, The Volcanos. S. 341. — [5] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde. 1. Band. Leipzig 1879. S. 204. — [6] v. Hochstetter, Neuseeland, Stuttgart 1863. S. 85 ff. — [7] Milne, On the form of volcanos, Geol. Mag., (2) Vol. V. S. 337 ff.; Further notes on the form of volcanos, ibid. (2) Vol. VI. S. 506 ff. — [8] v. Stockar, Die logarithmische Linie als Kurve der rückwirkenden Festigkeit, nachgewiesen am Anlauf des Pfeilers, der Säule und des Pyramidalkörpers mit quadratischem Querschnitt, Archiv d. Math. und Phys., 34. Theil. S. 431 ff. — [9] Français, Mémorial de l'officier du génie. Metz 1820. N. 4. — [10] Löwe, Alte und neue Versuche über Reibung und Kohäsion von Erdarten, München 1872. — [11] Ibid. S. 81 ff. — [12] Milne, On the form etc. S. 340. — [13] Suess, Das Antlitz der Erde, 1. Abtheilung, Prag und Leipzig 1883. S. 190. — [14] Geikie, The lava-fields of north-western Europe. Nature, Vol. XXVIII. S. 3. — [15] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 78 ff. — [16] G. K. Gilbert, Report on the geology of the Henry Mountains, Washington 1877. — [17] Suess, Das Antlitz etc. S. 198. — [18] Ibid. S. 199 ff. — [19] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, II. Auflage, 9. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1840. S. 2321 ff. — [20] K. Fuchs, Vulkane und Erdbeben, Leipzig 1875. S. 51. — [21] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 226. — [22] Lyell, Principles of geology, vol. I, London 1830. S. 378. — [23] K. Fuchs, Vulkane etc., S. 45. — [24] Ibid. S. 47. — [25] vom Rath, Ueber eine massenhafte Exhalation von Schwefelwasserstoff in der Bucht von Missolunghi, Monatsber. d. k. preuss. Akad. d. Wissenschaften, 1882. — [26] Gehler's Phys. Wörterbuch, 9. Band, 3. Abth. S. 2331 ff. — [27] Ibid. S. 2333. — [28] Ibid. S. 2335. — [29] Huc-Gabet, Wanderungen durch das chinesische Reich, deutsch von Andree, Leipzig 1855. S. 129 ff. — [30] G. H. Hess, Composition du gaz des feux de Bacou, St. Petersbourg 183. — [31] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2337. — [32] v. Gutbier, Beschreibung des Zwickauer Schwarzkohlengebirges, Zwickau 1834. S. 81. — [33] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2340. — [34] Breislak, Institutions géologiques, tome III, Milan 1818. S. 435. — [35] A. v. Middendorff, Ueber den Vulkanismus in Centralasien, Ausland, 1879. S. 634 ff. — [36] v. Richthofen, China, 1. Band, Leipzig 1877. S. 216 ff. — [37] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 22. — [38] Bischof, Ueber die natürlichen Kohlensäure-Exhalationen am Laacher See, Schweigger's Journal, 56. Band. S. 147 ff. — [39] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2329. — [40] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 233. — [41] Ibid. S. 448. — [42] Solinus, Memorabilia Mundi, cap. V. — [43] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 232. — [44] M. Wagner, Der Kaukasus und das Land der Kosaken in den Jahren 184 bis 1846, 1. Band, Dresden und Leipzig 1848. S. 10 ff. — [45] Gümbel, Ueber das Eruptionsmaterial des Schlammvulkans von Paterno am Aetna und über Schlammvulkane im Allgemeinen, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., Math.-phys. Kl., 1881. S. 256 ff. — [46] Ibid. S. 271 ff. — [47] Pilar, Grundzüge etc. S. 13 ff. — [48] v. Hochstetter, Die Vulkane Java's, Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wissensch. zu Wien, Math.-naturw. Kl., 36. Band. S. 128 ff. — [49] O. Schneider, Ueber den Schlammvulkan von Boshie-Pranysl in Transkaukasien, Verhandl. d. Berl. anthropol. Gesellschaft, 1878. S. 21 ff. — [50] v. Buch, Physikalische Beschreibung der kanarischen Inseln, Berlin 1825. S. 321 ff. — [51] Ibid. S. 328 ff. — [52] Ibid. S. 353 ff. — [53] Ibid. S. 379 ff. — [54] Ibid. S. 392 ff. — [55] v. Buch, Ueber die Zusammensetzung der basaltischen Inseln und über Eruptionskrater, v. Leonhard's mineralog. Taschenbuch, 1821. S. 391 ff. — [56] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 249. — [57] Fr. Hoffmann, Geschichte der Geognosie und Schilderung der vulkanischen Erscheinungen, Berlin 1838. S. 131 ff. — [58] Fr. Hoffmann, Ueber die geognostische Beschaffenheit der Liparen, Ann. d. Phys. u. Chem., 26. Band. S. 81 ff. — [59] Ch. Darwin, Geological observations on the volcanic islands, London 1844. S. 127. — [60] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 253. — [61] Ibid. S. 455. — [62] Brunel, Observationes phaenomenorum quorundam factae in insulis africanicis Franciae et Borbonii, Ephem. Soc. Meteorol. Palat., 178. S. 396. — [63] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 234. — [64] Ueber den Vulkan Demavend in Persien, Gaea, 13. Jahrgang. S. 251. — [65] Rüppell, Reisen in Nubien, Frankfurt a. M. 1829. S. 151. — [66] Lynch, Proceedings of the royal geogr. society, Vol. XIII. S. 213. — [67] Abich, Ein vermeintlich thätiger Vulkan an den Quellen des Euphrat, Bull. de la soc. imp. des natural. de Moscou

tome XLIII. S. 1 ff. — [68] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 261 ff. — [69] Fr. Hoffmann, Gesch. etc. S. 125. — [70] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 268. — [71] Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde, herausg. v. Löwenberg, 2. Band, Leipzig 1878. S. 520 ff. — [72] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 271. — [73] Ibid. S. 278. — [74] W. Sartorius v. Waltershausen, Atlas des Aetna, Weimar 1859. — [75] v. Lasaulx, Die neueste Eruption des Aetna vom 22. Dezember 1882. Humboldt, 2. Jahrgang. S. 213 ff. — [76] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 276 ff. — [77] Die vulkanischen Gebirge von Aegina und Methana, Naturforscher, 1. Jahrgang. S. 13 ff. — [78] Island's jüngste vulkanische Phänomene, Ausland, 1879. S. 243 ff. — [79] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 256 ff. — [80] Ibid. S. 260. — [81] Goethe's sämmtliche Werke in vierzig Bänden, 40. Band, Stuttgart 1869. S. 33 ff. — [82] Suess, Das Antlitz etc. S. 206. — [83] Hesse, Die erloschenen Vulkane Deutschlands, Reichenbach i. V. 1883. — [84] Steininger, Bemerkungen über die Eifel und die Auvergne, Mainz 1824. S. 32. — [85] Steininger, Die erloschenen Vulkane in der Eifel und am Niederrhein, Mainz 1820. S. 175 ff. — [86] Hesse, Die erl. etc. S. 11 ff. — [87] Ibid. S. 32 ff. — [88] Gümbel, Geologische Fragmente aus der Umgegend von Ems, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., Math.-phys. Kl., 1881. S. 239. — [89] Hesse, Die erl. etc. S. 49. — [90] Ibid. S. 55. — [91] Gümbel, Ueber den Riesvulkan und über vulkanische Erscheinungen im Rieskessel, Sitzungsber. d. k. bayr. Ak. d. Wissensch., Math.-phys. Kl., 1870. S. 153 ff. — [92] Kaiser, Jan Maijen, Gaea, 18. Jahrgang. S. 697. — [93] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 288. — [94] Ibid. S. 290 ff. — [95] Ibid. S. 294 ff. — [96] Ibid. S. 296. — [97] Jagor, Reisen in den Philippinen, Berlin 1873. S. 333. — [98] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 302 ff. — [99] Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart, deutsch von Hasskarl, 2. Band, Leipzig 1852. S. 606 ff. — [100] Bickmore, Reisen im ostindischen Archipel in den Jahren 1865 und 1866, deutsch von Martin, Jena 1869. S. 32. — [101] Ibid. S. 51 ff. — [102] Der Vulkanismus im Sundagebiete und die Katastrophe vom August 1883, Deutsche Rundschau f. Geogr. u. Stat., 6. Jahrgang. S. 81 ff. — [103] Fuchs, Vulkane etc. S. 281. — [104] Ibid. S. 284. — [105] Ibid. S. 326 ff. — [106] v. Buch, Phys. Beschr. etc. S. 284 ff. — [107] Scrope, The Volcanos etc. S. 229. — [108] Dolter, Die Vulkane der Kap Verden und ihre Produkte, Graz 1882. — [109] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 309. — [110] Ibid. S. 337 ff. — [111] Ibid. S. 340 ff. — [112] Die Eruption des Mauna-Loa auf Hawaii, Gaea, 18. Jahrgang. S. 139 ff. — [113] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 338. — [114] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 581 ff. — [115] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 343. — [116] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Carl Ritter und Alexander v. Humboldt, München 1877. S. 507. — [117] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 310 ff. — [118] Ibid. S. 313. — [119] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 144 ff. — [120] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 313 ff. — [121] M. Wagner-Scherzer, Die Republik Costa Rica in Südamerika, Leipzig 1856. S. 37. — [122] Ibid. S. 261. — [123] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 320. — [124] Verhandl. d. Berl. Gesellsch. f. Erdkunde, 9. Bd. S. 329; 10. Bd. S. 481. — [125] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 333. — [126] Eruption vulkanischen Staubes auf Domingo, Gaea, 16. Jahrg. S. 411 ff. — [127] Th. Wolf, Ein Besuch der Galapagos-Inseln, Heidelberg 1879. — [128] Zöppritz, Der gegenwärtige Stand der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrb., 8. Band. S. 38 ff. — [129] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 218. — [130] Fr. Hoffmann, Gesch. etc. S. 451 ff. — [131] Eine interessante Anwendung des Mikrophons auf vulkanische Erscheinungen, Ausland, 1879. S. 179. — [132] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 219. — [133] H. Müller, De montibus ignivomis etc. S. 30. — [134] Kries, De nexu inter terrae motus vel montium ignivomium eruptione et statum atmosphaerae, Acta nova soc. Jablonov., tom. IV. S. 40 ff. — [135] Palmieri, Der Ausbruch des Vesuv vom 26. April 1872, deutsch von Rammelsberg, Berlin 1872. S. 17. — [136] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 221. — [137] Vulkanstudien bei Santorin, Gaea, 10. Jahrgang. S. 641 ff. — [138] Ibid. S. 647. — [139] Phillips, Vesuvius, London 1869. S. 112. — [140] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 225. — [141] Jagor, Reisen etc. S. 107 ff. — [142] Junghuhn-Hasskarl, Java, 1. Band. S. 605. — [143] Hesse, Die erl. etc. S. 11. — [144] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 226. — [145] Culmann, Der Minentrichter, Vierteljahrsschr. d. naturf. Gesellsch. zu Zürich, 16. Jahrgang. — [146] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1876. S. 134. — [147] Bedemar, Om vulkaniska produkter fra Island, Kjöbnhavn 1817. — [148] Bischof, Die Bedeutung der Mineralquellen und Gas-Exhalationen bei Bildung und Veränderung der Erdoberfläche, Schweigger's Journal, 66. Band. S. 125 ff. S. 225 ff. — [149] Gehler, 9. Band,

3. Abth. S. 2261 ff. — [150] Ménard de la Groye, Observations avec réflexions sur l'état et les phénomènes du Vesuve pendant une partie des années 1813 et 1814, Journal de physique, tome LXXX. S. 400. — [151] S. o. [78]. — [152] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2264. — [153] K. Fuchs, Vulkane etc. S. 102 ff. — [154] Ibid. S. 103 ff. — [155] Penck, Ueber Palagonit- und Basalt-Tuffe, Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellschaft, 18. Band. S. 504 ff. — [156] Ibid. S. 90 ff. — [157] H. Reusch, Ueber Vulkanismus, deutsch von Herrmann, Berlin 1883. S. 5. — [158] v. Buch, Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien, 2. Band, Berlin 1809. S. 174. — [159] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2268. — [160] Ibid. S. 2269. — [161] Faujas de la Fond, Recherches sur les volcans éteints de Vivarais et Velay, avec un discours sur les volcans brûlés, Vol. I, Paris 1778. — [162] Reusch-Herrmann, Ueber Vulkanismus, S. 7. — [163] Scrope, The volcanos, S. 73. — [164] Reyer, Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine, Wien 1877. — [165] Reyer, Vulkanologische Studien, Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, Wien 1878. S. 89 ff. — [166] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2274 ff. — [167] Reyer, Ansichten über die Ursachen der Vulkane, Gaea, 19. Jahrgang. S. 218 ff. — [168] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 449. — [169] Peschel-Ruge, Gesch. d. Erdkunde etc. S. 64 ff. — [170] Ovidii Metamorph. liber, v. 296--306. — [171] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 251. — [172] Nehring, Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca, 2. Theil, Wolfenbüttel 1876. S. 5. — [173] Ibid. S. 9. — [174] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, mit besonderer Rücksicht auf Schöpfungsgeschichte, 1. Band, Gütersloh 1877. S. 287. — [175] Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Stuttgart 1882. S. 177. — [176] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo, ed. Narducci, Roma 1859. S. 117. — [177] Zakarija ben Muhammed ben Mahmûd el-Karzwînî's Kosmographie, 1. Halbband, deutsch von Ethé, Leipzig 1868. S. 339 ff. — [178] Kircher, Mundus subterraneus, in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur, Amstelodami 1664. — [179] G. F. Parrot, Grundriss der Physik der Erde und Geologie, Riga und Leipzig 1815. S. 257 ff. — [180] Hamilton, Observations on mount Vesuvius, mount Etna and other volcanos of the two Sicilies, London 1772. — [181] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2279 ff. — [182] Beccaria, Lettere del elettrizismo naturale e artificiale, Torino 1753. S. 226. — [183] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2288. — [184] Lister, On the nature of earthquakes and volcanos, Phil. Transact., Vol. XIV. S. 512 ff. — [185] Lémery, Explication physique et chimique des feux souterrains, des tremblements de terre, des ouragans, des éclairs et du tonnerre, Mém. de l'acad. franç., Année 1700. S. 101 ff. — [186] Krüger, Gedanken von der Ursache des Erdbebens, Halle 1756. — [187] Henkel, Pyritologia oder Kieshistorie, Leipzig 1825. — [188] Ibid. S. 867. — [189] A. Werner, Versuch über die Entstehung der Vulkane durch Entzündung mässiger Steinkohlenflötze, als Beitrag zur Geschichte des Basaltes, Höpfner's Magazin, 4. Band. — [190] Davy, On the phenomena of volcanos, Phil. Transact., Vol. CLVIII. S. 241 ff. — [191] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 247. — [192] Przystanowski, Untersuchungen über den Ursprung der Vulkane in Italien, Leipzig 1822. — [193] Clarke, Experiments with the oxygen and hydrogen blow-pipe, Cambridge 1817. — [194] D'Aubuisson, Traité de géognosie, Vol. II, Paris 1819. S. 211. — [195] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2286. S. 2297. — [196] Ibid. S. 2289 ff. — [197] Bischof, Die Wärmelehre im Inneren unseres Erdkörpers, Leipzig 1837. S. 250 ff. — [198] Gehler, 9. Band, 3. Abth. S. 2295 ff. — [199] Fr. Hoffmann, Gesch. etc. S. 128. — [200] Ibid. S. 133. — [201] Bruhns, Alexander v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, 3. Band, Leipzig 1872. S. 147. — [202] Höfler, Die Meridionalgebirge, Jahresber. d. Ver. f. Geogr. u. Stat. zu Frankfurt a. M., 1882—83. — [203] Kohn, Sjewjerzow's Bemerkungen über die meridionalen Erhebungen der Pamir-Wüste und ihr Verhältniss zu Humboldt's Bau des Bolor, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 55 ff. — [204] Fr. Hoffmann, Gesch. etc. S. 234. — [205] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 206 ff. — [206] Ibid. S. 203. — [207] Peschel-Ruge, Gesch. etc. S 65. — [208] Suess, Das Antlitz etc. S. 200. — [209] Abich, Geologische Forschungen in den Kaukasusländern, 2. Band, 1. Abtheilung, St. Petersburg 1882. S. 76 ff. — [210] Hesse, Die erl. etc. S. 4. — [211] Reyer, Vulkanol. Stud., S. 473 ff. — [212] Reyer, Ansichten etc. S. 220. — [213] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Meteorologie und Klimatologie, Zürich 1880. S. 62 ff. — [214] Pilar, Grundzüge etc. S. 41 ff. — [215] Zöppritz, Recension zu Wettstein, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin,

7. Band. S 59 ff. — [216] v. Petrino, Die Entstehung der Gebirge, erklärt nach ihren dynamischen Ursachen, Wien 1879. S. 69 ff. — [217] A. Kirchhoff, Recension hiezu. Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 37 ff. — [218] Mohr, Ueber die Ursache der Erdwärme, Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1875. S. 371 ff. — [219] Fr. Pfaff, Die vulkanischen Erscheinungen, München 1871. S. 167 ff. — [220] Mallet, On volcanic energy: an attemt to develop its true origin and cosmical relations, Phil. Transact., Vol. CLXIII. S. 147 ff. — [221] Mallet, Ueber vulkanische Kraft, deutsch von v. Lasaulx, Bonn 1874. — [222] C. Prévost, Quelques propositions relatives à l'état originaire et actuel de la masse terrestre etc., Compt. rend. de l'acad. franç., tome XXXI. S. 461 ff. — [223] Suess, Die Entstehung der Alpen. Wien 1875. S. 47 ff. — [224] Geikie, On some points in the connection between metamorphism and volcanic action, Transact. of the Edinb. geol. society, Vol. II. S. 287 ff. — [225] Reusch-Herrmann, Ueber Vulkanismus, S. 26 ff. — [226] Scrope, On Mallet's theory of volcanic energy, Geol. Mag., (2) Vol. I. S. 38 ff. — [227] J. Roth, Ueber die neue Theorie des Vulkanismus des Herrn R. Mallet, Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellschaft. 27. Band. S. 551 ff. — [228] Ibid. S. 564 ff. — [229] Reusch-Herrmann, Ueber Vulkanismus, S. 30. — [230] Fr. Pfaff, Der Mechanismus der Gebirgsbildung, Heidelberg 1880. S. 104 ff. — [231] Reusch-Herrmann, Ueber Vulkanismus, S. 32. — [232] Tschermak, Ueber den Vulkanismus als kosmische Erscheinung, Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wiss. zu Wien, math.-naturw. Kl., 75. Band, 1. Abth., S. 151 ff.; Die Bildung der Meteoriten und der Vulkanismus, Sirius, (2) 4. Band. S. 149 ff. — [233] Ibid. S. 157. — [234] Hagenbach-Bischoff, Sprengwirkungen durch Eis, Ber. d. naturf. Ges. zu Basel, 7. Band. S. 185 ff. — [235] Zoppritz, Der gegenw. etc. S. 35. — [236] Suess, Das Antlitz etc. S. 318 ff. — [237] Penck, Studien über lockere vulkanische Auswürflinge, Zeitschr. d. deutschen geol. Gesellschaft, 17. Band. S. 127. — [238] Zirkel, Ueber den muthmasslichen ursprünglichen Zustand der älteren Eruptivgesteine. Oest. Monatsschr. f. Wissensch. u. Kunst, 1872. S. 594 ff. — [239] Cordier, Essay sur la température de l'intérieur de la terre, Paris 1827. — [240] Prestwich, Some observations of the causes of volcanic action, Nature, Vol. XXIV. S. 471 ff. — [241] Dücker, Tagebl. d. 52. Versamml. deutscher Naturf. u. Aerzte, Baden 1879. S. 197 ff. — [242] Pilar, Grundzüge etc. S. 179 ff. — [243] Dutton, Report on the geology of the high plateaus of Utah, Washington 1880. S. 116 ff. S. 128 ff. — [244] Suess, Das Antlitz etc. S. 240. — [245] Sollas, The connection between the intrusion of volcanic action, Nature, Vol. XXIV. S. 472. — [246] Reusch-Herrmann, Ueber Vulkanismus, S. 33. — [247] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 490. — [248] Ibid. S. 375. — [249] Ibid. S. 483. — [250] Rein, Ueber Berg- und Thalwinde und ihre Beziehungen zur Vegetation der vulkanischen Gebirge, Gaea 15. Jahrgang. S. 681 ff.

Kapitel IV.

Erdbeben.

§. 1. Beschreibung einzelner Erdbebenphänomene und Erdbebengebiete. Die erste Vorbedingung zur Erklärung, ja selbst nur zum richtigen Verständnisse der Menge verwickelter Erscheinungen, welche wir mit dem Namen Erdbeben zusammenzufassen gewohnt sind, ist die Beschaffung eines ausgiebigen Beobachtungsmateriales. Aus leicht verständlichen und in der Natur des Menschen nur allzusehr begründeten Ursachen ist dieser Forderung jedoch nur sehr schwer nachzukommen, und keine der aus dem Alterthum und Mittelalter auf uns gekommenen Nachrichten kann auf Zuverlässigkeit Anspruch machen. Den richtigen Weg der Notizensammlung betrat zuerst Scheuchzer

aus Zürich [1], der im Jahre 1697 Fragezettel an eine Reihe von Gelehrten sandte, in welchen Fragen über die näheren Umstände einiger in der Schweiz empfundener Erdstösse (bei Basel und Eglisau) zur Beantwortung vorgelegt waren; die Wissbegierde des Fragestellers erstreckte sich auch auf mancherlei andere erdphysikalische Gegenstände, als auf Veränderung in der Lufttemperatur und in den magnetischen Verhältnissen, auf das Vorkommen von Fossilien in der Gegend des Adressaten, auf Gletscher, Feuerkugeln, Sternschnuppen, Nordlichter u. s. w. Durchdachte Vorschläge zur Aufstellung von Fragebogen, deren richtige Ausfüllung uns eine vollständige Statistik der Erdbebenerscheinungen liefern würde, hat Pilar [2] gemacht, indem er sorglich alle in Betracht kommenden Punkte erörterte. Wir werden bald sehen, dass das wenige, was man zur Zeit über den mechanischen Charakter eines bestimmten Erdbebens aussagen kann, statistischen Aufnahmen und natürlich auch einer rationellen Bearbeitung des von diesen gebotenen Stoffes verdankt wird.

Soweit die aussereuropäischen Länder in Frage kommen, verfügt die Forschung meist nur über gelegentliche Berichte von Reisenden u. dgl.*). Nur Japan macht eine Ausnahme, weil dort erstlich deutsche Naturforscher, wie Knipping [4] und E. Naumann [5], ein sorgsames Auge auf diese Vorfälle haben, und weil zweitens die Japanesen selbst seit Jahrhunderten ihr Interesse dafür durch genaue Aufschreibungen bethätigten**). In unserem Welttheile hat Italien den wenig erfreulichen Vorzug, von Erschütterungen des Bodens am meisten heimgesucht zu werden, und so konnte es nicht fehlen, dass eine umfangreiche Literatur über italienische Beben entstand. Dahin ist in erster Linie zu zählen das klassische Werk von Mallet [6], durch welches unser unsicheres Wissen über die Einzelheiten solcher Phänomene zuerst eine festere Fundamentirung erhielt; Mallet hatte seine Erfahrungen in Kalabrien gesammelt, jenem unglücklichen Lande, das schon im Jahre 1783 eine — von Dolomieu und Grimaldi [7] beschriebene — Katastrophe dieser Art erlebt hatte. Ihren speziellen Historiographen besitzen die Erdbeben Italiens in De Rossi, dem eifrigen Vertreter eines selbstständigen Wissenszweiges der unterirdischen Physik. Das Erdbeben von Belluno ist von Bittner [8] und Falb [9] charakterisirt worden, während für das südliche Italien im Allgemeinen Suess [10] die Grundlinien der Erforschung vorzeichnete.

*) Als eine verdienstliche Ausnahme ist Wynne's Studie über das nordostindische Erdbeben von 1878 zu nennen [3]. Auch in den neuspanischen Staaten beginnt man die Nothwendigkeit einer sozusagen offiziellen Registrirung der seismischen, wie der vulkanischen Ereignisse immer deutlicher einzusehen, namentlich in Chile und Guatemala, wo Rockstroh diese Angelegenheit von Staatswegen in die Hand genommen hat.

**) Die Nachrichten der japanischen Annalenschreiber reichen bis in das dritte vorchristliche Jahrhundert hinauf. Natürlich läuft des Fabelhaften genug mit unter, doch wird die Darstellung, je mehr sie sich der neueren Zeit nahert, eine immer genauere, wie denn die in Kap. III, §. 6 erwähnte Angabe von einer plötzlichen Erhebung des gigantischen Fusijama im Jahre 285 v. Chr. durch einen eingeborenen Geographen später ausdrücklich für eine Sage erklärt wird. Von 1676 an werden die seismischen Berichte zahlreich und minutiös. Japan's Literatur enthält 5 Erdbebenkalender, 13 Schilderungen besonders furchtbarer Ereignisse und 2 theoretische Abhandlungen über Erschütterungen. Die „British Association" ernannte Milne zum seismischen Reporter für Japan.

Für die entsetzliche Heimsuchung, welche über den Badeort Casamicciola auf Ischia ergieng, fehlt es, da erst eine kurze Zeit seitdem verstrichen ist, noch an einem wissenschaftlich erschöpfenden Berichte, doch hat Ratzel [11] einstweilen sehr umsichtig die Thatsachen zusammengestellt, während das schwächere Erdbeben, das zwei Jahre früher an gleicher Stelle stattgefunden hatte, in v. Lasaulx [12] einen Beschreiber fand. — Sehr gute monographische Arbeiten besitzen wir auch über einzelne mitteleuropäische Erdbeben und Schüttergebiete, so von Hantken v. Prudnik [13] und Pilar [14] über Agram, von Yeitteles [15] über Karpathen und Sudeten, von Suess [16] über Niederösterreich, von Höfer [17] über Kärnthen; das grosse deutsche Beben von 1872 schilderte v. Seebach [18], das mehr periodische Erzittern des Herzogenrather Territoriums verfolgte v. Lasaulx [19] in zwei den verschiedenen Stadien gewidmeten Schriften. Dasjenige Land Europa's, in welchem zur Zeit am meisten für die statistisch-naturhistorische Erforschung der Erdbeben geleistet wird, ist jedoch wahrscheinlich die kleine Schweiz. Es besteht dort eine eigene „schweizerische Erdbebenkommission" unter der Leitung des Berner Physikers A. Forster, und die Organisation des Beobachtungs- und Nachrichtendienstes ist eine so gute, dass, wie der Rechenschaftsbericht des Präsidenten über zwei Monate des Jahres 1881 beweist [20], auch die leichtesten Zuckungen der Kontrole nicht entgeben konnten. Das gesammte im Verlaufe zweier Jahre aufgespeicherte Material legte A. Heim den zu Linththal versammelten Mitgliedern der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft vor [21], dabei konstatirend, dass innerhalb der Grenzen der kleinen Republik von November 1879 bis Ende Dezember 1880 nicht weniger als 69, im einzigen Jahre 1881 sogar 166 Stösse bemerklich waren, worunter 18 bedeutendere. In Deutschland hat sich der naturwissenschaftliche Verein zu Karlsruhe durch das Vorgehen der schweizerischen Gesellschaft angeregt gefühlt, einen Ausschuss zur Kontrole der in sein Bereich fallenden Erderschütterungen niederzusetzen.

Für die Wissenschaft der Erdbebenkunde hat De Rossi auf dem Titel eines allerdings hochverdienstlichen Werkes [22] die Bezeichnung endogene Meteorologie in Vorschlag gebracht*). Wir glauben diesen Namen ablehnen zu sollen, da unseres Erachtens durch ihn die Gefahr nahe gelegt wird, von vorn herein die Ergründung des wirklichen Sachverhaltes an eine bestimmte und nichts weniger als feststehende Theorie geknüpft zu sehen, während doch gewiss die von uns (s. u. §. 9) als tektonisch zu bezeichnenden Erdbeben nicht das Mindeste mit Veränderungen im Luftkreise zu thun haben. Nach wie vor dürfte, wenn ein Fremdwort gewählt werden soll, das Wort Seismologie (von den synonymen griechischen Terminis σεῖσις, σεῖσμα,

---

*) Nach Neumayer's offiziellem Protokoll [23] fasste der in Rom zusammengetretene zweite internationale Meteorologen-Kongress folgenden Beschluss: „Nachdem der Kongress mit grossem Interesse den Bericht über Herrn De Rossi's Forschungen betreffs der Phänomene, die er unter dem Namen „Endogene Meteorologie" zusammenfasst, angehört hat, drückt derselbe den Wunsch aus, jene Forschungen fortgesetzt zu sehen, und weist auf die Beziehungen hin, die zwischen diesen Phänomenen und denjenigen der allgemeinen Meteorologie bestehen können." In dieser Form ward schliesslich auch der Beschluss redigirt [24].

σεισμός entlehnt) sich am meisten empfehlen. Als wenn auch nicht strenge systematische, so doch für das Studium der seismischen Erscheinungen wichtige und nützliche Schriften verdienen diejenigen Favaro's [25] genannt zu werden, während die mehr mathematisch-experimentelle Seite unserer Disciplin in R. Mallet [26] einen hervorragenden Vertreter fand. Umfassende Kataloge der seismischen Phänomene verdankt man ebenfalls den beiden Mallet [27] und J. Schmidt [28], für frühere Zeit Karl v. Hoff [29]; auch Perrey hat solche Zusammenstellungen in einer ganzen Reihe von Schriften gemacht, von denen es hier genügen möge, die bedeutendste [30] zu nennen. Kurz, aber musterhaft umsichtig findet sich der heutige Stand der Erdbebenforschung gekennzeichnet in einem Schriftchen von J. Roth [31], auf welches wir selbst in den folgenden Paragraphen sehr häufig Bezug zu nehmen haben werden; ein ähnliches lieferte Toula [32].

§. 2. **Allgemeine Schilderung des Verlaufes einer Erderschütterung.** Es ist nicht leicht, das Wesen eines Erdbebens in einer allen Anforderungen genügenden Weise zu definiren. In Kap. IV, §. 2 der vorigen Abtheilung lernten wir gewisse langsame Bewegungen der Erdrinde kennen, welche sich in geringen Ortsveränderungen eines freihängenden Pendels oder der Luftblase einer Wasserwage bemerklich machen, dabei aber — eben der gleichmässigen und nicht abrupten Form ihres Auftretens halber — nicht den uns hier beschäftigenden Erscheinungen zugezählt werden dürfen. Alle rein oberflächlichen Gleichgewichtsstörungen sind jedoch ebenso auszuschliessen, wie etwa Bergstürze oder Erdschlipfe, der Zusammenbruch zugänglicher Höhlen, die Wirkungen von Orkanen u. s. w., obschon mit all' diesen Ereignissen nicht selten ein ganz namhaftes Erzittern benachbarter Theile der Erdoberfläche verbunden zu sein pflegt. Roth bezeichnet [33] „als Erdbeben die vorübergehende Bewegung des Erdbodens, deren unter der Oberfläche gelegene Ursache von unten nach oben, von der Tiefe nach aussen wirkt“, und an dieser Fixirung des Begriffes wollen auch wir hier uns genügen lassen. Bemerkt sei jedoch zugleich, dass nicht lediglich das Festland, sondern auch der Meeresboden solchen Erschütterungen ausgesetzt ist, welche deshalb auch im nächsten Paragraphen gesondert zu betrachten sein werden. Den Erdbeben stellt man die Seebeben gegenüber.

Die Erdbeben sind eine weit häufigere Erscheinung, als man gemeiniglich glaubt, wie denn A. v. Humboldt [34] der Ansicht ist, dass zu keiner Zeit die innere Thätigkeit der Erdrinde vollständig aufhöre, dass vielmehr am einen oder anderen Orte diese Aktion ununterbrochen sich geltend mache. Wenn die erwähnten Listen der Erdbebenstatistiker ziemlich für jedes Jahr eine Zunahme der beobachteten Erdstösse erkennen lassen, so darf aus diesem Umstande natürlich nicht auf eine wirkliche Vermehrung solcher Vorfälle, sondern nur auf eine Vermehrung der Beobachter und auf eine erhöhte Aufmerksamkeit dieser letzteren geschlossen werden, doch dient die Zunahme immerhin dazu, für die Wahrscheinlichkeit von Humboldt's Behauptung Propaganda zu machen [35]. Die für das vorige Kapitel so wichtige Frage der geographischen Vertheilung braucht uns hier

nicht zu beschäftigen, denn soviel lässt sich schon nach unseren heutigen Erfahrungen übersehen, dass kein Land der Erde sich einer absoluten Immunität den Erdbeben gegenüber rühmen kann, obgleich natürlich die einen mehr, die anderen weniger häufig und stark betroffen werden. Im Alterthum hielt man, gestützt auf die Autorität des Dichters Pindar und des Naturhistorikers Plinius [36], die Insel Delos, Aegypten und Gallien für erdbebenfreie Gebiete, eine Ansicht, welche Seneca mit spöttischen Seitenhieben auf die derselben anhängenden Leute, als eine „crédula natio philosophorum“, bekämpfte [37]. Selbst manche vulkanreiche Gegend ist sicherer, als gewisse durchaus unvulkanische und trotzdem von steten Stössen heimgesuchte Landstriche. Peschel glaubte in seinem interessanten Aufsatze „über das gegenwärtige Wissen von den Erdbeben“ [38] immerhin einige Anhaltspunkte für eine relative Erdbebenfreiheit erkannt zu haben, und Leipoldt formulirt [39] seine Ergebnisse dahin, „dass Erdbeben seltener werden 1) im Abstand von thätigen Vulkanen, 2) im Abstand von vormals thätigen Vulkanen, 3) im Abstand von dem Erderschütterer Poseidon, also im Binnenlande und nicht auf Halbinseln, Inseln oder Küstengestaden, 4) im Abstand von jung erhobenen Gebirgen, überhaupt auf grösseren Tiefebenen (obgleich auch sie nicht gänzlich frei sind), 5) in alten Erdtheilen im Gegensatze zu den jüngeren.“ Es wird (a. a. O.) darauf hingewiesen, dass gewisse Felsgebilde, die Livingstone in Afrika antraf, vollständig aus dem stabilen Gleichgewichte herausgerathen waren und gleichwohl seit unvordenklicher Zeit in diesem Zustande verharrten, während auch der leiseste Erdstoss ihren Fall herbeiführen musste. Aehnliche erosive Gesteinsformationen, die alles inneren Haltes zu entbehren scheinen, kommen den von Pechuël-Lösche dem Frankfurter Geographentage vorgelegten Zeichnungen zufolge auch am Congo vor. Kant vertheidigte mit Lebhaftigkeit den Satz, dass die Meeresufer am stärksten bedroht seien, indem er auf Kleinasien, Nordafrika, Peru, die iberische und die apenninische Halbinsel hinwies [40]; am schlimmsten sind nach ihm Südamerika, Italien und die Inseln des indischen Oceans daran [41]. Soviel ist gewiss, dass es relativ immune und daneben auch, wie sich Roth (a. a. O.) ausdrückt, habituelle Stossgebiete giebt. So sucht sich Suess, um vergleichende Normen für die seismischen Gesetze trotz der zu supponirenden Ungleichartigkeit der Ursachen zu erhalten, für seine Untersuchungen, gewissermassen als Paradigmen, vier örtlich weit auseinanderliegende Schüttergebiete heraus, nämlich dasjenige der nordöstlichen Alpen, dasjenige des südlichen Italiens, dasjenige des centralamerikanischen Festlandes und dasjenige der Westküste von Südamerika [42].

Was die Stärke des Erdstosses anlangt, so ist dieselbe, je nach den Umständen, eine ungemein verschiedene. Manchen Ortes befindet sich der Boden in einem fast nie unterbrochenen Zustande des Erzitterns Monate und selbst Jahre hindurch; man spricht dann von Erdbebenschwärmen [43] (Grossgerau). Weit seltener und weit gefährlicher sind die von schwächeren Stössen eingeleiteten und gefolgten, selbst aber durch wenige, rasch nach einander erfolgende, energische Rucke des Bodens ausgezeichneten Erdbeben im engeren Sinne. Drei Stösse, deren stärkster 3 bis 4 Sekunden anhielt, reichten

am 26. März 1812 hin, Stadt und Provinz Caracas vollständig zu verwüsten. Hie und da freilich ist die Dauer eine weit längere, so bei dem furchtbaren Erdbeben von Riobamba (4. Februar 1797), wo in Zeit von vollen zwei Monaten kaum ein Nachlassen der Intensität zu verspüren war, so bei dem grossen nordamerikanischen Erdbeben von 1811, dessen Phasen sich an eine gewisse Periode zu halten schienen [44], so beim phokischen Beben, das nach J. Schmidt vom 31. Juli 1870 bis zum 1. August 1873 nicht weniger als 35 Hauptstösse, von kleineren Erschütterungen abgesehen, zu unterscheiden gestattete [45].

In früherer Zeit glaubte man einen dreifachen Unterschied in der Art der Erdstösse statuiren zu sollen, obgleich schon Seneca, dessen gesundes Urtheil ja mehrfach schon unser Staunen erregte, das Richtige getroffen hatte, indem er, selbst einem griechischen Vorgänger die Ehre gebend, nachstehende Definition aufstellte [46]: „Duo genera sunt, ut Posidonio placet, quibus movetur terra. Utriusque nomen est proprium: altera succussio est, cum terra quatitur et sursum et deorsum movetur, altera inclinatio, qua in latera nutat navigii more." Die inclinatio des Römers wird heute als undulatorische Bewegung bezeichnet, der Name succussorische Bewegung ist dagegen für ein stossweises Auf- und Niederschwingen des Bodens beibehalten worden [47]. Erstere Art der Bewegung ist die weitaus gefährlichere, da sie den Zusammenhalt der Bauwerke am unheilbarsten löst, während die einfache Oscillation, wenn sie auch Menschen und Häuser in die Höhe zu schnellen, ja sogar nach Hamilton [48] die Gipfel der Berge in eine hüpfende Bewegung gerathen zu lassen vermag, meist keine so furchtbaren Trümmerhaufen schafft, wie jene. Dolomieu berichtet [49] als Augenzeuge, dass bei dem furchtbaren Erdbeben von 1783 die mehr am Rande der Schütterzone gelegenen Städte Messina und Reggio zwar furchtbar zugerichtet gewesen seien, dass man aber doch jedes zerfallene Haus noch als Individuum habe erkennen können, während das Städtchen Polistena, das die stärkste Amplitude der Undulation wegen seiner centralen Lage im Schüttergebiete auszuhalten hatte, in eine form- und unterschiedslose Gesteinsmasse verwandelt worden sei. Was die oben genannte dritte Bewegungsform, die rotatorische, anlangt, so ist dieser „moto vorticoso" als ein spezieller Fall der succussorischen erkannt worden [50]. Eine einfache mechanische Ueberlegung lehrt, dass ein Stoss, der nicht durch den Schwerpunkt eines — theilweise beweglichen — Körpers hindurchgeht, eine Drehung dieses Körpers hervorrufen muss. Falb theilt ein auffallendes Beispiel einer solchen Verdrehung mit [51], welches er an einer Friedhofspyramide zu Farra im Friaul beobachten konnte. Letztere bestand, so wie sie aus der Hand des Steinhauers hervorgegangen war, aus sieben genau an einander anschliessenden Bestandtheilen, und jedes einzelne dieser Stücke war gegen die beiden zunächst darauf folgenden um mehrere Grade verrückt worden, während die vertikale Hauptaxe des Monumentes nur eine geringe Parallelverschiebung erfahren hatte.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stosswellen suchten Mallet und Fr. Pfaff durch geologische Experimente, Abbot durch Minensprengungen mit Dynamit zu ermitteln [52]. Blos für Granit fanden sich leidlich stimmende Zahlen, indem für dieses Gestein der durch

schnittliche Weg der Welle pro Sekunde etwas mehr als 500 m zu betragen scheint. Wäre der Zwischenraum zwischen dem Ausgangsorte eines Erdbebens und einem zweiten Orte (= a) mit homogenem Felse von der Dichtigkeit d und dem Elasticitätsmodul E erfüllt, so würde nach den bereits von Newton [53] aufgefundenen Sätzen von der Bewegung im elastischen Mittel der Weg a in der Zeit $a : \sqrt{gE : d}$ zurückgelegt werden, unter g, wie üblich, die Fallbeschleunigung verstanden. Diess ist nun nicht der Fall, die Zusammensetzung der Erdrinde ist vielmehr häufig die denkbarst heterogene, allein es fehlt uns durchaus an Mitteln, den Grad der Heterogeneität im Einzelfalle richtig zu schätzen, und wenn man deshalb weiss, dass für den Ort A, welcher anscheinend zunächst über der Erregungsstelle lag, das Erdbeben zur Zeit t_1, dagegen für den (um $AB = a$) abstehenden Ort B zur Zeit t_2 ($t_2 > t_1$) bemerklich wurde, so werden wir doch im Allgemeinen den Bruch $a : (t_2 - t_1)$ als einen angenäherten Werth für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit anzusehen berechtigt sein. „Sieht man," sagt v. Seebach [54], „wie nahe die . . . Orte übereinstimmen, obschon sie auf den verschiedensten Radien des Centrums von zum Theil völlig verschiedener geologischer Bildung liegen, so wird man der Ansicht von O. Volger beipflichten müssen, welcher 1858 schon meinte, dass die unendliche Mannigfaltigkeit der geologischen Verhältnisse sich gegenseitig aufheben und zu einem mittleren Gesammtverhalten führen müsse." Für das Erdbeben von Amt-Gehren findet der genannte Seismologe eine Sekundengeschwindigkeit von 742 m, für jenes von St. Goar von 567,6 m, für jenes in der Basilicata von 259,7 m [55]. Von den Fortpflanzungsverhältnissen der Erdbebenfluthen handelt §. 3.

Die Ausdehnung der von einem bestimmten Erdbeben in Mitleidenschaft gezogenen Oberflächenpartieen ist eine sehr verschiedene [56]. Oft ist der Erschütterungsbezirk nur ein ganz geringer, während das zu trauriger Berühmtheit gelangte Erdbeben von Lissabon (1. November 1755) $^1/_{13}$ der gesammten Erdfläche erzittern liess. Fr. Hoffmann spricht von einzelnen äusserst merkwürdigen Beispielen für beide entgegengesetzte Möglichkeiten [57]. Es gilt diese Verschiedenheit nicht blos bezüglich der horizontalen, sondern auch der vertikalen Verbreitung der Stösse. So fuhren im Jahre 1812 die Bergleute aus gewissen Gruben des Erzgebirges schleunigst aus, weil sie durch heftige Zuckungen der Erde in Schrecken gesetzt worden waren, die an der Oberfläche ganz und gar nicht sich hatten spüren lassen, und gerade die umgekehrte Erfahrung soll sich nach Berzelius den Grubenarbeitern von Persberg und Falun in Dalekarlien aufgedrängt haben [58].

Nachhaltige geologische Folgen sind den Erdbeben im Allgemeinen nicht abzusprechen. Die alten Geographen und Naturforscher hatten auch auf diese morphologische Bedeutung der Erdstösse ihr Augenmerk gerichtet; Seneca behauptet, dass das früher vom Meere völlig abgeschlossene Thessalien durch ein Erdbeben entsumpft und entwässert worden sei [59], und Plinius führt Beispiele seismischer Insel- und Landbrückenbildungen an [60]. Der entstehenden Spalten gedenkt Seneca nicht minder ausdrücklich [61]: dieselben sind gewöhnlich nur klein, häufig aber gross genug, um ganze Häuser mit ihren Insassen zu verschlingen. Bisweilen klappen die Ränder der

Erdbebenspalten wieder so genau auf einander, dass das Vorhandensein jener nur durch eingeklemmte Gegenstände erkennbar wird, nicht selten aber ergeben sich auch Verwerfungen und Niveauverschiebungen: so wollte man nach dem Agramer Erdbeben die Wahrnehmung gemacht haben, dass eine auf entferntem Berge gelegene Kapelle jetzt auch von Standorten aus sichtbar geworden sei, die früher ihrer tiefen Lage halber eine solche Möglichkeit nicht geboten hätten. Die Spalten verlaufen häufig radial, wie die Speichen eines Rades, und in diesem Falle treten aus ihnen mitunter jene eigenthümlichen Sandkratere hervor, verbunden mit Gas- und Schlammausscheidungen. Roth [62] zählt acht charakteristische Ereignisse dieser Art auf; auch in Resnik bei Agram hat man nach dem grossen kroatischen Erdbeben solche Neubildungen bemerkt. Versiegen von Quellen und Flüssen oder wohl auch das Hervortreten neuer strömender Gewässer ist nach Seneca [63] ebenso im Gefolge von Erschütterungen zu erwarten, wie der Aufstau der Flüsse durch Schuttmassen und Terrainhebungen. Veränderungen grossen Styles sind hingegen eine Ausnahme. Bergstürze und Rutschungen wurden sowohl bei dem schrecklichen kalabrischen Erdbeben als auch bei dem phokischen (von J. Schmidt) konstatirt [64]. Das aufgeregte Meer reisst wohl auch grössere Stücke vom Uferlande ab (vgl. §. 3), doch werden instantane oder rhapsodische Hebungen und Senkungen (so drückt man sich der langsam und kontinuirlich vor sich gehenden säkulären Oscillationen halber aus) nur bei besonders lange dauernden und ungestümen Erdbeben beobachtet [65]. Suess, von dem das oben angeführte bezeichnende Kunstwort herrührt, hat die Verhältnisse an der südamerikanischen Westküste, wo eben Fitzroy und Ch. Darwin unwiderlegliche Zeugnisse seismischer Vertikalverschiebungen von grösserem Betrage gefunden haben wollten [66], zum Gegenstande seines besonderen Studiums gemacht [67] und als dessen Schlussfazit den Satz formulirt [68]: „Bei keiner der zahlreichen seitherigen Erschütterungen des westlichen Südamerika ist eine Erhebung des Landes bemerkt worden."

Wir beenden diesen das empirische Rohmaterial der Seismologie sammelnden Paragraphen mit dem Hinweise darauf, dass künftig auch die Seehöhe des Ortes, an welchem ein Erdstoss sich fühlbar machte, mehr als bisher in Betracht gezogen werden sollte. Ein italienischer Physiker, Diamilla-Müller, ist für die Berücksichtigung auch dieses geographischen Elementes mit Beibringung mathematischer Motive eingetreten [69].

§. 3. **Seebeben und Erdbebenfluthen.** Wir sahen bereits oben, dass der Meeresgrund ebensowenig, wie das Festland, als vor Erschütterungen gesichert betrachtet werden darf. Wenn Schiffe bei ruhiger See heftig zu schwanken beginnen, wenn das umgebende Wasser aufzischt, Blasen treibt und Gasgerüche aushaucht, wie diess alles bei dem grossen peruanischen Erdbeben vom 30. März 1828 im Hafen von Callao beobachtet worden sein soll, so muss man wohl an einen submarinen Gasausbruch oder dergleichen denken [70]. Solche eigentliche Seebeben im engeren Sinne sollten, strenge genommen, nicht zusammengeworfen werden mit den gigantischen Fluthen, welche im Gefolge eines jeden litoralen Erdbebens aufzutreten pflegen. Indess kann diese

Unterscheidung wohl nur in den seltensten Fällen wirklich gemacht werden, wie denn auch der in seinen Klassifikationen so genaue v. Sonklar beide Phänomene unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zusammenfasst. „Wird durch ein starkes Erdbeben,“ sagt er [71], „gleichviel ob dessen Centrum nahe der Küste oder von derselben entfernt, immer aber im Bereiche des Meeres liegt, der Boden des letzteren heftig erschüttert, so wird der Gleichgewichtszustand der Wassermasse plötzlich und, je nach der Stärke der Erschütterung, nicht selten in einem Grade gestört, der für die Küsten und für die Menschen, die da wohnen, von den zerstörendsten Folgen begleitet ist. Das Meer geräth dabei in eine heftige oscillirende Bewegung, die alle Tiefen desselben ergreift, sich durch eine der gewöhnlichen Fluth ziemlich nahe kommende Geschwindigkeit der Fortpflanzung, sowie durch eine radienförmige Ausbreitung nach allen Richtungen bis zu den entferntesten Gestaden des betroffenen Meeres auszeichnet.“ Dass der wahre Stosspunkt weiter drinnen im Festlande liegen und doch ein solches Erdbeben gleichfalls eine Hochfluth nach sich ziehen sollte, glaubt v. Sonklar [72] in Abrede stellen zu müssen. Die Geschichte lehrt uns Ereignisse dieser Art in Menge kennen, und der genannte Forscher hat alle Mittheilungen darüber mit Sorgfalt aufgezeichnet (a. a. O.). Strabon war sehr geneigt, die Wirkung von Erdbebenfluthen in Meerengen und Landeinschnitten zu erkennen, wie er denn nach H. Fischer [73] sowohl den Durchbruch des Thales Tempe, als auch jenen des Bosporus auf Erdstösse zurückführt, die allgemein-dynamischen Lehren des Lampsaceners Straton (vgl. die Einleitung) nach einer bestimmten Richtung hin präcisirend; vielleicht hat ihn auch sein anerkannter geographischer Scharfblick richtig geleitet, da die Grenzlinie zwischen Asien und Europa in jener Gegend wirklich mit dem Rande einer Schütterzone zusammenfällt. Thukydides führt den plötzlichen Rückgang und den darauf folgenden Wiederandrang der See, wodurch 425 v. Chr. die Insel Euböa betroffen wurde, wohl mit Recht auf ein Erdbeben zurück [74]. v. Hoff berichtet [75], dass im Jahre 1510 eine Erdbebenfluth in Konstantinopel 109 Moscheen und 1070 Häuser mit sich fortgerissen habe. Auch bei'm Lissaboner Erdbeben wurden weit furchtbarere Verwüstungen, als durch die eigentlich seismischen Wirkungen, durch den plötzlichen Eintritt einer 26 m hohen Meereswoge in den Tejo herbeigeführt. Vorder- und Hinterindien kennen derartige Katastrophen, wie wir weiter unten sehen werden, nur zu gut, doch reicht kein Land der Erde in dieser Beziehung an die südamerikanische Westküste heran, wo z. B. am 28. Oktober 1746 die Hafenstadt Callao vollständig von der Oberfläche weggefegt ward. Die Worte „el mar se retire“ genügen bei den bekanntlich sehr häufigen Erdbeben von Peru und Chile, um das Volk zu veranlassen, alle etwaigen Rettungsarbeiten einzustellen und die schleunige Flucht zu ergreifen, denn die Erfahrung hat gelehrt, dass eine solch' unnatürliche Ebbe in kürzester Frist mit riesenhaften Fluthbergen abwechselt. Wir besitzen seit einigen Jahren gehaltvolle monographische Schilderungen solcher Erdbebenfluthen; so beschrieb Griesbach (76) die Katastrophe von Arica und Tacna (13. August 1868), bei welcher an jeden der drei Einzelstösse auch ein Ueberfluthen der Küste sich anschloss, und Geinitz [77] sammelte alle Nachrichten

über das Erdbeben von Iquique in Peru (9. Mai 1877), wo acht Sturzwellen nacheinander über diese unglückliche Hafenstadt sich ergossen. In letztgenanntem Falle scheint an ein wirkliches Seebeben gedacht werden zu müssen, wenigstens formulirt Geinitz die aus den Korrespondenzbeobachtungen gezogenen Resultate in folgendem Satze: „An den Orten, welche von der stärksten Erschütterung gleichzeitig betroffen wurden, also an den Orten innerhalb des Kreises des ersten und stärksten Stosses, trat auch die Fluthbewegung des Oceans zuerst und gleichzeitig auf. Freilich gehen auch hier die Angaben, sowohl betreffs der Zeit, als auch in Bezug auf die Art und Weise der Bewegung, ob sie nämlich mit einer Welle, oder einem Rückzug der See begonnen, vielfach auseinander. Es ist nicht möglich, aus der Kombination der Orte, an denen die Fluth gleichzeitig auftrat, durch isorachische Linien*) sich das Centrum, von dem die Bewegung ausgieng, zu konstruiren. Soviel erscheint als sicher, dass das Centrum des Erdstosses, und mithin auch die Fluthwellen, nicht auf dem festen Lande, sondern einige Seemeilen (vielleicht 50?) westwärts von der Küste und zwar südwestwärts von Iquique gelegen war."

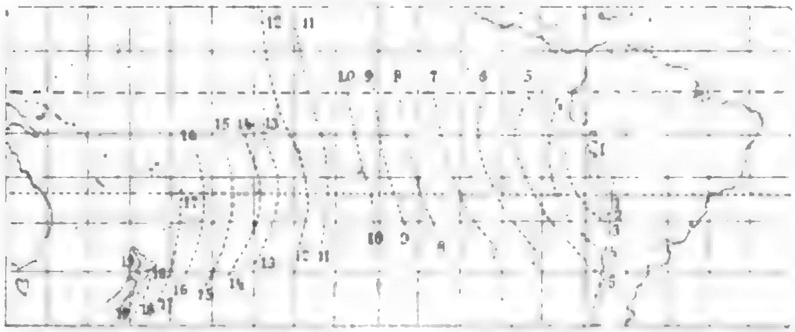
An diese peruanische Erdbebenfluth hat sich eine längere theoretisch-polemische Auseinandersetzung geknüpft. Graf Berg vermisste [78] in Geinitz's Schrift die ausreichende Kausalerklärung des Vorganges: Ch. Darwin's Hinweis auf einen Aufsaugungsprocess des Wassers [79] befriedigte ihn begreiflicherweise auch nicht, und so entschied er sich (a. a. O.) für eine durch das Erdbeben bewirkte instantane Hebung der Küste, welche das Niveau des Meeres heftig beeinträchtige. Nach dem, was oben (§. 2) über die seismisch-rhapsodischen Schwankungen der südamerikanischen Westküste ausgesagt wurde, fehlt für Graf Berg's Auffassung der Sache der eigentliche thatsächliche Untergrund. Dem gegenüber hielt Geinitz [80] daran fest, dass eine durch submarine Stösse ausgelöste Wellenbewegung des Meeres eine zutreffendere Erklärung liefere, und uns erscheint dieser Modus auch jetzt noch als der natürlichere, obwohl Graf Berg [81] in umfänglicher Replik nochmals für seine Theorie eintrat. Abweichend von beiden führt der Amerikaner Rachel die Bildung der Fluthwelle auf eine Senkung des Meeresbodens zurück [82].

Es versteht sich, dass für das Fortschreiten der Erdbebenwellen im Weltmeere ganz dieselben Normen gelten müssen, welche die Physik überhaupt für die Wellenbewegung als gültig erkannt hat. Ausser Geinitz selbst haben sich noch Bircham [83] und ganz besonders v. Hochstetter [84] mit den Fortpflanzungsverhältnissen der seismischen Wogen beschäftigt; ja der letztere hat sogar gezeigt, dass man vermittelst der von Bache und Airy entwickelten Formel $h = v^2 : g$ (h Tiefe des Gewässers, in welchem sich Wellen mit der Geschwindigkeit v verbreiten, $g = 9{,}80896$ m) einen ungefähren Schluss von jenen Verhältnissen auf die durchschnittliche Tiefe der betreffenden Meere machen kann. Unsere Figur 74 giebt nach den Ermittelungen des berühmten österreichischen Geologen ein Bild davon, wie die Erdbebenwelle das pazifische Weltmeer durchlief, indem alle Orte, welche

*) Isorachieen nennt Whewell jene Kurven, welche die Punkte gleicher Gezeitenphase (höchste Fluth oder tiefste Ebbe) auf der Erdoberfläche verbinden.

von ersterer n (= 1, 2, 3 . . . 19) Stunden nach dem Eintreten der peruanischen Katastrophe erreicht waren, durch einen Kurvenzug mit einander in Verbindung gebracht wurden. Diese Linien gleicher

Fig. 74.



Erdbebenfluthphase haben im freien Ocean, wie es die Theorie fordert, eine angenähert kreisförmige Gestalt, die erst von dem Momente an Verzerrungen erleidet, in welchem die Wellen bei'm Eintritt in einen der zahlreichen polynesischen Inselarchipele Brechungen und Beugungen erleiden. Die Tonga- und Viti-Gruppe löschten in Verein mit dem quer sich vorlegenden neuseeländischen Landmassiv die Bewegung förmlich aus, so dass weiter westlich nichts mehr von derselben zu verspüren war. Sowohl die Mareographen, als auch, was noch merkwürdiger, die Barographen der alten und neuen Welt markirten vom 27. August 1883 an deutlich die oceanischen und atmosphärischen Wellen, welche von dem Erdbeben in der Sunda-Strasse ausgiengen. General Strachey ist zur Zeit mit der Sichtung des Materiales beschäftigt.

Neuestens hat Suess mit Aufgebot höchster — geophysikalischer sowohl wie linguistischer — Gelehrsamkeit den Zusammenhang zwischen den Erdbeben und den Sintfluthерzählungen der verschiedenen alten Nationen in's richtige Licht zu setzen unternommen [85]. Unterstützt von hervorragenden Assyriologen hat er den Keilschriftbericht des sogenannten „Izdubar-Epos", welches eine auffallende Aehnlichkeit mit der noachischen Legende bekundet, näher geprüft und dargethan, dass als primäre Ursache der dort beschriebenen Ueberschwemmung Mesopotamiens ein vermuthlich von Drehstürmen begleitetes Erdbeben im Gebiete des persischen Meerbusens anzusehen sei [86]; das Alluvionenterrain des Euphrat und Tigris begünstigte wesentlich das sicher bezeugte Hervorsprudeln des Wassers aus der Tiefe. Suess erklärt diese auffallende Erscheinung in folgender Weise [87]: „Dieses Hervortreten grosser Wassermassen aus der Tiefe ist ein Phänomen, welches in bezeichnender Weise die Erderschütterungen in den Alluvialgebieten grosser Flüsse begleitet. Es breitet sich in diesen grossen Flächen zu beiden Seiten des Stromes weithin das Grundwasser in den jungen Ablagerungen aus, und seine obere Grenze steigt allmählig gegen rechts und gegen links mit der Entfernung vom Strome mehr und mehr über den Stand des Mittelwassers. Was unter dieser Grenze liegt, ist durchfeuchtet und beweglich; der Boden über derselben ist trocken und brüchig. Treten nun seismische Undulationen in solches

Gebiet, so bricht der obere spröde Theil des Bodens in langen Spalten auf, und aus den Brüchen tritt gewaltsam bald in grossen Massen, bald in vereinzelten, selbst mehrere Meter hohen Strahlen das Grundwasser rein oder als schlammige Masse hervor.“ Ganz die gleiche Grundursache war im Spiele, als (1827) ein beträchtlicher Theil des sogenannten Ran of Kachh im Meere versank; es soll bei diesem Anlass auch ein riesiger Damm, der „Ullah-Bund“ oder Gottesdamm genannt, aus dem Boden gestiegen sein und dem übrigen Lande zur Rettung gedient haben. Suess hat, auf Grund der Berichte von Burnes und Wynne, den Sachverhalt näher geprüft und gefunden [88], dass der Ullah-Bund gar kein wirklicher Damm, sondern nur eine natürliche Bodenterrasse ist, über welche hinaus das Grundwasser nicht genügend weit vorgedrungen war, um auch die dahinter liegenden Landstrecken ebenso, wie das angeschwemmte Vorterrain, unterspülen und bei'm Eintritte des Erdbebens mit sich fortreissen zu können. Oberhalb des Gottesdammes waren eingreifende geologische Veränderungen des Indus-Delta's nicht zu konstatiren.

§. 4. **Anzeichen und Schutzmittel.** So ziemlich Alles, was sich über die etwaige Vorausbestimmung von Erdbeben und über die Mittel der Abhülfe gegen deren unheilvolle Folgen aussagen lässt, hat Favaro in seinen beiden uns aus §. 1 bekannten Monographieen gesammelt, welche uns denn auch jetzt zur hauptsächlichsten Vorlage dienen. Nach den übereinstimmenden, dadurch aber freilich noch lange nicht zuverlässig gewordenen Nachrichten römischer Schriftsteller, welchen sich auch später der Kirchenhistoriker Eusebius anschloss, soll Anaximander die Spartaner vor einem bald nachher eingetretenen Erdbeben gewarnt haben und Diogenes Laertius schreibt eine gleiche Prophetengabe dem Pherekydes zu [89]. Anno 1343 machte der auch mit dem exakten Wissen seiner Zeit wohl vertraute Dichter Petrarca dem Kardinal Colonna die Mittheilung von einer geglückten Erdbebenprognose [90]: „Praevenerat quidem, mirum dictu! instantis mali fama, religioso quodam episcopo, astrorumque curioso, e vicina quadam insula aliquot ante diebus periculum nuntiante: sed ut fere nunquam conjecturis ad verum penetrant, non maritimum sed terrestrem motum praedixerat, ruituramque Neapolim a. d. septimum calendis decembris millesimo quadragesimo tertio.“ Favaro, der dieser merkwürdigen Weissagung ein eigenes Schriftchen widmete [91], jedoch eben auch nur die geschichtliche Wahrheit der Thatsache, nicht aber deren seismologischen Grund festzustellen in der Lage war, lässt uns die Wahl, in dem himmels- und erdkundigen Geistlichen einen Bischof Jakob von Capri oder Wilhelm von Ischia zu erblicken. All' diese Nachrichten zwingen uns zwar die Stellung der Frage auf, ob es überhaupt Anzeichen für eine regelrechte Erdbebenprognose gäbe, sie führen uns aber der Lösung dieser Frage in keiner Weise näher. Wenn Teloni behauptet, Anaximander habe aus der Betrachtung der Gestirne, Anaximenes aus dem Vogelfluge, Pythagoras endlich aus dem Geschmacke des Brunnenwassers seine Prophezeiungen geschöpft [92], so ist diess offenbar wenig mehr, als leeres Gerede ohne Hintergrund.

Höchstens die Wasserzeichen, wie sich Cantor in seiner Rezension des ersten Werkchens von Favaro (Beil. z. allg. Zeit. vom

18. August 1875) ausdrückt, verdienen vielleicht als wirkliche prognostische Merkmale nicht ganz und gar von der Hand gewiesen zu werden. Wenn wir auch gar nichts über die Art und Weise der Wasserbeobachtung eines Pythagoras und Pherekydes wissen, so fehlt es uns doch nicht an bestimmter lautenden Angaben anderer Autoren. Plinius z. B. behauptet [93], dass das Wasser der Brunnen vor und nach dem Erdstosse Veränderungen aufweise, und nach Favaro [94] wird Analoges von Sguario und dem Bologneser Mönch Augusti bezeugt. Cardanus, bei allen Excentricitäten doch ein kluger Kopf und scharfer Beobachter, sagt hierüber [95]: „Cum aquae puteorum sulphur metallicumve aliud redolent, aut titubant, aut turbantur, aut incalescunt, aut picantur praeter actionem, terrae motum imminere praenuntiant.“ Ein hervorragender französischer Physiker, Hervé-Mangon, verfestigte diese immer noch schwankende Theorie durch Beobachtungen, welche er am artesischen Brunnen zu Passy anstellte, und welche an Tagen, deren Verlauf in weit entfernten Ländern, z. B. in der Schweiz, durch ein Erdbeben gekennzeichnet war, eine auffallende Trübung des Wassers ergaben [96]. Taramelli bestätigt diese Wahrnehmung, gestützt auf seine in Belluno gemachten Erfahrungen. Favaro macht deshalb [97] ganz mit Recht den Vorschlag, ein ausgedehntes System physikalisch-chemischer Quellen- und Brunnenuntersuchung in's Leben zu rufen, damit die Möglichkeit, aus den Wasserzeichen wirklich brauchbare Kriterien für die Prophezeiung von Erderschütterungen zu gewinnen, näher erforscht und an Stelle vager Hypothesen eine Anzahl beglaubigter Thatsachen gesetzt werde*).

Ob Elektricität und Magnetismus in irgendwelcher ursächlicher Beziehung zu den Erdstössen stehen, wissen wir nicht mit Bestimmtheit. Kurz vor dem Lissaboner Unglück sollen zwar in verschiedenen physikalischen Kabineten Europa's die Anker von den Hufeisenmagneten abgefallen sein, welch' letztere sonach plötzlich an ihrer Koercitivkraft eingebüsst haben müssten. Dem gegenüber behauptete A. Bertrand bestimmt, es gebe weder meteorologische, noch magnetische Vorzeichen, und die Unruhe der Deklinationsnadeln während des Aktes selber sei eine ganz mechanische Folge des Stosses [100]. Immerhin will Quetelet [101] die — seltenen — Erdbeben Belgien's stets von elektrischen und magnetischen Unregelmässigkeiten begleitet gefunden haben, und auch Serpieri [102] hat mancherlei Material in diesem Sinne gesammelt. Favaro endlich berichtet [103] nach Rouvet von Störungen der Telegraphenleitungen, welche im September 1875 auf

---

*) Man darf, wenn man Beziehungen zwischen seismischen und hydrologischen Erscheinungen ausmitteln will, wohl auch an die mancherlei von glaubwürdigen Zeugen berichteten Schwankungen des Wasserstandes erinnern, welche Erdstosse auf weit entlegenem Gebiete zur Folge hatten. In Kant's „Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfalle des Erdbebens, welches an dem Ende des MDCCLV. Jahres einen grossen Theil der Erde erschüttert hat“, wird gemeldet [98], dass das Niveau der Seen von Como und Neufchatel, sowie eines kleinen Landsee's bei Meiningen damals in zuerst unerklärlicher Weise sank, dass ferner die Teplitzer Thermalquellen plötzlich versiegten, um sodann blutroth und mit Schlamm versetzt wieder hervorzusprudeln. Und Waltenberger berichtet [99]: „Der Hechtsee (bei Kufstein) gerieth ebenso wie der Achen- und Walchensee in heftige Wallung an dem Tage, an welchem das Erdbeben zu Lissabon stattfand.“

der Insel Martinique in Begleitung einer Erderschütterung aufgetreten seien. Künftiger Forschung eröffnet sich hier ersichtlich noch ein weites Feld.

Dass meteorologische Anomalieen mit Erdbeben Hand in Hand giengen, ist zwar nicht selten behauptet, niemals aber bewiesen [illegible] den, und Kries glaubte jede Beziehung dieser Art vollkommen ableugnen zu müssen [104]. In Italien hat sich über diese Frage jüngst eine lebhafte Diskussion zwischen den Fachmännern entsponnen. Monte erklärte [105], ein erkennbarer Parallelismus im Gange des Barometers, Anemometers und Erdbebenmessers sei nicht nachweisbar; Bertelli dagegen wollte die von ihm bemerkten mikroseismischen Bewegungen als nur graduell von den Erdstössen verschieden anerkannt wissen und widersetzte sich [106] Monte's Versuch, jene leisen Erzitterungen aus der Elasticität des Bodens und aus der verschiedenen Erwärmung der Luftschichten abzuleiten. Melzi endlich trat auf Bertelli's Seite, indem er sich auf seine Bearbeitung von 700 Anemometermessungen stützte [107]. Auch hier ist's noch lange nicht an der Zeit, irgend ein abschliessendes Urtheil zu fällen. Jul. Schmidt in seinen „Erdbebenstudien“ ist nicht abgeneigt, einer gewissen Abhängigkeit der Erschütterungen vom Barometerstande das Wort zu reden. Nichtsdestominder, wie die Meteorologie als solche, hat auch deren Theildisciplin, die meteorologische Optik, prognostische Kriterien liefern sollen. So wollte Gemma Frisius das Erdbeben vom Januar 1563 auf Grund eines eigenthümlichen Aussehens der Sonne während der vorausgegangenen Weihnachtstage prognosticirt haben [108]. In Kant's uns bereits bekannter Abhandlung vom Lissaboner Erdbeben ist zu lesen [109], dass man als Vorboten des letzteren eine am 14. Oktober 1755 zu Locarno am Lago maggiore gesehene Lichterscheinung betrachtete: es erhob sich ein rother Dampf, aus welchem rother Schnee herabfiel, und an diesen Schneefall reihten sich furchtbare Regengüsse an. Näheres über atmosphärisch-optische Vorzeichen enthält ein Aufsatz von Fron [110]; wie ungemein prekär die Sache ist, brauchen wir aber nicht erst besonders hervorzuheben.

Kaum besser steht es mit den Versuchen, astronomische Vorgänge mit den Erdbeben zu parallelisiren und für letztere eine periodische Wiederkehr zu eruiren. Soweit die Anziehung des Mondes und der Sonne dabei in Frage kommt, verweisen wir auf §. 9. Dagegen muss jetzt schon ein Wort über das angebliche Wechselverhältniss zwischen den seismischen Erscheinungen und der uns aus Kap. II. § 6 der ersten Abtheilung bekannten elfjährigen Periode der Sonnenflecke eingeschaltet werden. Wie wenig bei solchen Vergleichen auf sichere Ergebnisse zu zählen ist, mag uns der Eine Umstand lehren, dass Poëy [111] der stärkeren und Kluge [112] der schwächeren Bedeckung der Sonne mit Flecken eine Zunahme der vulkanisch-seismischen Thätigkeit auf der Erde entsprechend gefunden haben will. Fritz, dem man gewiss keinen allzugrossen Skepticismus nach dieser Richtung hin vorwerfen kann, scheint trotzdem irgendwelchen Zusammenhang zwischen tellurischer und solarer Aktion nicht für erwiesen zu halten [113].

Wir überzeugen uns, dass es mit zuverlässigen Kennzeichen, aus denen der Eintritt seismischer Ereignisse entnommen werden könnte,

…us schlecht bestellt ist. Die Unruhe und Angst der Thiere, …ne für schwache einleitende Stösse vielleicht ein feineres Gefühl …en mögen, ist allerdings ein Faktor, mit welchem bis zu einem gewissen Grade gerechnet werden kann; so glauben die Cubaner nach Knapp [114], dass die von ihnen als Familiengenosse geschätzte zahme Hausnatter (Majitá domestica) vor Ausbruch eines Erdbebens die Häuser zu verlassen und auf's freie Feld sich zu flüchten pflege. Pilar that auch ganz wohl daran, in seinem Fragebogen (s. §. 1) sorgfältige Beobachtung der Hausthiere dringend anzuempfehlen. Man darf aber nicht vergessen, dass das Verhalten der Thierwelt keineswegs nur den Erdbeben, sondern überhaupt jeder aussergewöhnlichen Naturerscheinung gegenüber das nämliche ist. So berichtet Mädler von den totalen Sonnenfinsternissen, welche er 1851 zu Brest-Litowsk und 1860 zu Vitoria beobachtete, dass eine hochgradige Verwirrung gerade der zahmen Thiere sich bemächtigte [115]*).

Die Schallphänomene endlich, die nicht selten einem Erdbeben vorausgehen und dasselbe begleiten — man vergleiche darüber die Angaben A. v. Humboldt's [117] und v. Seebach's [118] —, sind nichts weniger als ein untrüglicher Vorbote. So weiss man [119], dass in der Nähe der mexikanischen Bergstadt Guanaxuato sich hie und da ein furchtbares unterirdisches Gebrüll („bramidos y truenos subterraneos") vernehmen lässt, welches die Bewohner zur Flucht veranlasste und gleichwohl noch niemals von wirklichen Stössen gefolgt war. Sorgfältige Beachtung hat diesen Tönen Jul. Schmidt geschenkt, als er den Vulkan von Santorin untersuchte; im Berichte [120] wird darüber gesagt: „Am 9. März 10^h 32^m beobachtete Schmidt zum erstenmale das wahre unterirdische Getöse (Rombo, Ruido oder Bramido), bei dem jede Angabe der Richtung unmöglich ist. Dasselbe wiederholte sich am 10. März mehrmals nach vorausgegangenem Rauchen und Brausen, ebenso in den darauffolgenden Tagen. Von grossem Interesse sind die viel- und sorgfältigen Unterscheidungen der vulkanischen Töne, welche Schmidt macht: Brausen, Heulen, Orgelton, Pfeifen, Rollen, Donner, Lärm, Gurgeln, Brüllen."

Jene Schutzmittel also, welche der Mensch erst dann anzuwenden hätte, wenn er die Gefahr einer seismischen Katastrophe sicher im Anzuge weiss, sind nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens ziemlich bedeutungslos. Es fragt sich aber, ob es nicht noch anderweite Schutzvorrichtungen gebe, die ein für allemal angebracht werden und ganzen Landkomplexen oder doch wenigstens einzelnen Gebäulichkeiten eine relative Sicherheit gewährleisten könnten. Bereits die Alten haben solche Möglichkeiten recht reiflich erwogen. Plinius erklärte [121] „aedificiorum fornices" für die besten Zufluchtsörter; Städte mit wenig solider Fundamentirung, wie Venedig, oder aber mit recht vielen Gewölben und Kellerlöchern würden sich hiernach einer gewissen Immunität erfreuen. Der genannte Römer schreibt eine

---

*) Was die Prophezeiungen des französischen Kapitäns Delaunay (nicht zu verwechseln mit dem bekannten Mathematiker) anbetrifft, welchen zufolge die Jahre 1883 und 1886 durch Kataklysmen sich auszeichnen sollten, so hat ein von Faye der Pariser Akademie über erstere erstatteter Bericht denselben jeden wissenschaftlichen Werth abgesprochen [116].

solche dem Artemistempel zu Ephesus zu [122]. Die Stadt Capua soll in ähnlicher Weise durch die grosse Anzahl der in ihr und um sie herum angebrachten Brunnen gesichert gewesen sein. Favaro, der sich in längerer Ausführung über die antiseismische Bedeutung der Brunnen von Udine verbreitet [123], berichtet auch [124] von analogen Angaben Fromond's und Genestri's und schildert eingehend den von einem ungenannten Erdbebenforscher ausgegangenen Versuch, die Nützlichkeit subterraner Hohlräume physikalisch zu erklären [125]. Aus einer Stelle im Varro scheint übrigens hervorzugehen, dass die ganze Idee auf etruskischem Boden erwuchs, wo ja von jeher physische Mysterien gehegt worden sind [126].

Am gleichen Orte giebt Plinius den Rath, die für ein und denselben Ort im Wesentlichen konstante Richtung der Erdstösse zu ermitteln und in diese Richtung die Längsaxen neu anzulegender Gebäude zu verlegen. Mit ersterer Behauptung hat es nach Serpieri seine Richtigkeit, obwohl es natürlich an Ausnahmen nicht mangelt [127]. Ein gewisser Sguario gedachte auf dieser Annahme mathematische Vorschriften aufzubauen; eine seiner „regulae architectonicae“ lautet z. B., wie folgt [128]: „Ut nempe, bini oppositi parietes cujuslibet aedificii omnino aequales, cum figura, numero, magnitudine et situ fenestrarum, januarumque tum crassitie, delectu et distributione fictilium saxorum, et laterum compinguntur, ut inde ratum sit, utriusque muri centrum gravitatis aequabiliter a solo distare.“ Wer sich genauer über den gewiss merkwürdigen Gegenstand unterrichten will, den verweisen wir auf die erschöpfenden Spezialstudien von Favaro [129], aus welchen wir hier nur einiges Wenige anführen können. De Rossi's Gesetz [130] („allo scotimento di una linea di frattura segue l'ondulazione trasversale de' suoi labbri“) giebt ihm die Mittel an die Hand, verständige Rathschläge für die Orientirung der Häuser innerhalb eines habituellen Stossgebietes zu ertheilen. Dass mit diesen Rathschlägen auch etwas geleistet werden kann, beweist das Beispiel Casamicciola's. Dort befanden sich bis zum 4. März 1881, an welchem Tage das erste Erdbeben (s. o. §. 1) eintrat, zwei genau in Bauart und Anlage mit einander übereinstimmende Kirchen; nur lief bei der einen die Hauptaxe den Bruchlinien parallel, bei der anderen stand sie darauf senkrecht. Die erstere blieb erhalten, die letztere sank in Trümmer [131]. Die Japaner, von deren richtigem Verständniss für seismologische Dinge wir bereits zu sprechen hatten, waren schon früher, wie Favaro zeigt [132], an die Frage der Auffindung architektonischer Schutzmassregeln herangetreten; ein französischer Ingenieur, Lescasse, hat dieselben an Ort und Stelle einem gründlichen Studium unterzogen und systematische Folgerungen daraus abzuleiten gesucht [133].

In seinen geschichtlichen Nachweisungen kommt Favaro auch [134] auf die gegen Ausgang des vorigen Jahrhunderts vielfach angepriesenen Erdbebenableiter zu sprechen, deren Werth natürlich ein rein fiktiver ist. Priestley dachte an hochfliegende Drachen, um einen Ausgleich zwischen Luft- und Erdelektricität herbeizuführen. Vivenzio stellte sogar die „Para-tremuoti“ und „Para-volcani“ als gleichberechtigt neben die „Para-tuoni“. Am einlässlichsten beschäftigten sich mit dieser sonderbaren Lehre der Philanthrop Bertholon de St. Lazare [135] und der deutsche Physiker Wiedeburg [136].

Bis zu welchen Ungereimtheiten die Phantasie sonst gescheidter Männer sich verstieg, beweist aber besonders klar das Beispiel des Göttinger Philosophen Hollmann, der die Erdrinde an vielen Stellen durchbohren und so dem im Inneren der Erde wüthenden Feuer einen gefahrlosen Abzug verschaffen wollte. In dieser Form hat uns wenigstens Kant [137] die Idee seines Fachgenossen überliefert.

§. 5. **Seismographen und Seismometer.** Die italienischen Forscher der neuesten Zeit, De Rossi, Palmieri, Serpieri u. s. w., scheinen übereinstimmend der Ansicht zu sein, dass sorgsame Beobachtung und Registrirung auch der schwächsten Erzitterungen des Bodens immer noch die meiste Gewähr für die rechtzeitige Warnung vor grösseren Erschütterungen biete. Es kommt also darauf an, solche Apparate zu konstruiren, die entweder blos überhaupt ein Schwanken des Bodens erkennen lassen (Seismographen) oder auch gleichzeitig die Möglichkeit einer messenden Verfolgung des ganzen Vorganges gewähren (Seismometer). Es ist auch kein geringes Maass von Scharfsinn an die Verfertigung brauchbarer Apparate dieser Art gesetzt worden, doch ist das Ziel noch lange nicht erreicht. Mit J. Roth „kann man aussprechen: die roheren Instrumente genügen nicht, die sehr feinen sind sehr theuer und bedürfen der Ueberwachung, es fehlt an allgemein einführbaren, billigen und dabei sicheren und genauen Apparaten“ [138]. Wir beschreiben im Folgenden einige der bekannteren Vorrichtungen, ohne auf Vollständigkeit Anspruch zu machen. Von Hengler's Schwungwage und Zöllner's Horizontalpendel sprechen wir nicht mehr ausdrücklich, obwohl nach seines Erfinders Angabe letzteres nur zu empfindlich auf Bodenerschütterungen reagirt; als es im Keller der Leipziger Universität angebracht war, gab es stets dann einen starken Ausschlag, wenn eines der im Hause befindlichen Kollegienzimmer sich zu füllen begann [139]. Unsere Aufzählung ist der Hauptsache nach eine chronologische.

a) **Salsano's Pendel.** Ueber diese Pendelvorrichtung eines neapolitanischen Mechanikers liegt uns nichts vor als ein Bericht Muncke's, der sich sehr abfällig äussert [140]. Ein schweres Gewicht soll an einem sehr langen Faden aufgehängt und an seinem unteren Ende mit einem Pinsel versehen werden, durch welchen auf einer unterlegten Strichrose von Papier die Schwingungsrichtungen aufzuzeichnen wären.

b) **Cacciatore's Seismograph.** Wir entlehnen unsere Mittheilungen hierüber dem Werke von A. Jakob [141]. Eine flache, kreisrunde Schale ist mit Quecksilber gefüllt und mit acht äquidistanten Löchern versehen, deren jedes in ein kalibrirtes Gefäss von bestimmter Grösse mündet. Die Schale wird nach den Weltgegenden orientirt. Auch ein leiser Stoss wird bewirken, dass sich die Schale nach einer bestimmten Seite senkt, und wenn man also z. B. nachher findet, dass z. B. in dem gegen Südwesten stehenden Auffangglase am meisten Flüssigkeit sich befindet, so hielt der Erdstoss offenbar im Ganzen die Richtung Nordost-Südwest ein. Eigentliche Messungen sind auf diese Weise jedoch wohl niemals angestellt worden, und Humboldt, der die vollkommeneren Methoden der experimentellen Seismologie nicht mehr erlebte, durfte mit Recht sagen [142]: „Die Erschütterungswellen werden durch Pendel und Seismometer-Becken ziemlich genau

in ihrer Richtung und totalen Stärke, keineswegs aber in der inneren Natur ihrer Alternanz und periodischen Intumescenz untersucht."

c) **Mallet's Säulen-Apparat.** Man lasse sich aus Marmor oder Eisen kleine Säulen anfertigen, deren Höhen gleich sind, während die Durchmesser ihrer Grundflächen in arithmetischer Progression wachsen. Aus diesen Cylindern bilde man zwei auf einander normal stehende Reihen, die auf fester Basis stehen, während rings herum lockerer Sand aufgeschüttet ist. Die umgefallenen Säulchen ergeben die Stossrichtung ziemlich genau [143].

d) **Palmieri's Erfindungen.** Das Observatorium des Vesuv ist bekanntlich mit Instrumenten ganz nach Palmieri's eigener Angabe ausgerüstet. Ausser einer Schrift des Direktors selbst [144] ist auch der schöne Bericht Peschel's [145] über seinen Besuch in jener Anstalt zu vergleichen. Die Signalisirung von Erdstössen erfolgt nach dreierlei verschiedenen Maximen, doch wird jeder Zeitverlust dadurch vermieden, dass sich auf einem Tische in Mitte des Beobachtungszimmers die drei nach den Instrumenten I, II, III gerichteten Fernrohre befinden. Nummer I ist eine gewöhnliche, horizontal schwingende Magnetnadel, Nummer II eine Inklinationsnadel, Nummer III endlich eine Stahlnadel, welche durch zwei geeignet angebrachte Magnete in einer bestimmten Richtung festgehalten wird. Jedes Fernrohr ist mit einer Poggendorff'schen Spiegelablesung versehen, welche die unablässigen kleinen Oscillationen der Nadeln zu verfolgen gestattet. Für gewöhnlich versieht ein Gehülfe den laufenden Dienst, und der Vorstand, der in Neapel seinen Lehrpflichten obzuliegen hat, wird erst dann telegraphisch herbeigerufen, wenn die nicht magnetische Nadel in lebhaftere Schwingungen geräth. Um die einzelnen kleineren Erdstösse sich selbst registriren zu lassen, ist ein Chronometer im Thurme der Warte mit einer galvanischen Batterie derartig verbunden, dass der Strom bei'm leisesten Erzittern des Hauses intermittirt und so die Uhr zum Stehen bringt. Im gleichen Augenblicke wird ein Anker angezogen und dadurch, ähnlich wie bei'm Morse'schen Telegraphen, auf einem abrollenden Papierstreifen ein Punkt markirt. Horizontale Stösse zu fixiren, dient eine Cacciatore'sche Schale, nur mit 16, statt, wie sonst, mit 8 Löchern versehen; um aber auch der vertikalen Komponente der seismischen Bewegung gerecht zu werden, bedient sich Palmieri eines Spiraldrahtes, der oben an einem Messinggalgen befestigt ist und am unteren Ende einen kleinen Magnetkörper trägt: im Ruhezustande schwebt dieser genau oberhalb eines mit Feilspänen gefüllten Napfes. Der geringste vertikale Ruck genügt, um den Magneten in die Späne hineintauchen zu machen, und sowie man diese wieder abgenommen hat, ist auch schon wieder die Adjustirung beendet.

e) **v. Seebach's Uhrhemmung.** „Eine beliebige gut gehende Uhr, welche auch Sekunden zeigt, wird auf 0 Zeit gestellt. Das Pendel wird aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und in seiner Stellung festgehalten dadurch, dass der um ein Geringes schwerere Arm eines Hebels hemmend in das Steigrad eingreift. An dem anderen leichten Hebelarme hängt an einem schlaffen Faden ein Gewicht, welches auf einer kleinen Säule von geringer Stabilität aufliegt. Bei einem Erdbeben wird die Säule umgestürzt werden, das Gewicht fällt und löst einen schweren Hebelarm aus dem Steigrad aus, wodurch dann das

schwingen und die aufgezogene Uhr den Eintritt des Stosses gen kann“ [146]. Diese Art von Seismometer beschränkt sich lich auf genaue Bestimmung des wichtigen Zeitelementes. Gleiches n leisten ist bestimmt

f) **Kreil's Registrirtrommel.** Ein Schreibstift zeichnet auf einer rotirenden, berussten Trommel eine Kurve, deren Diskontinuitäten auf einen Erdstoss schliessen lassen [147].

g) **v. Lasaulx's Seismochronograph.** Eine kleine schwere Kugel drückt in der Ruhelage so auf eine Feder, dass deren Axe mit dem vertikalen Durchmesser der ersteren Eine Gerade bildet. Ein Erdstoss bringt sie aus dem labilen Gleichgewicht, sie rollt in einen der Einschnitte des umgebenden Holztellers und charakterisirt dadurch, ähnlich, wie bei Cacciatore, die Stossrichtung. Gleichzeitig aber arretirt ein an der Feder befestigter Hebelarm das Pendel einer daneben stehenden Uhr, welche sonach genau den Moment der ersten Erschütterung angiebt [148].

h) **Bertelli's Tromosismometer.** Derselbe besteht nach des Erfinders eigener Darlegung aus folgenden drei Theilen [149]: dem seismoskopischen Indikator, einem elektrischen Läutewerk, dem Isosismometer zur Messung der horizontalen und dem Orthosismometer zur Messung der vertikalen Komponente eines Stosses. Hauptbestandtheil des Isosismometers ist ein Pendel, dessen Linse die mikrosismischen Bewegungen macht; dieselben werden mit Hülfe eines total reflektirenden Prismas mikroskopisch beobachtet und auch aufgezeichnet, so dass, wenn die Erschütterung vorüber ist, ein graphisches Tableau vorliegt, aus welchem man ersehen kann, wie sich die Intensitäten der den einzelnen Strichen entsprechenden Stossrichtungen zu einander verhielten.*)

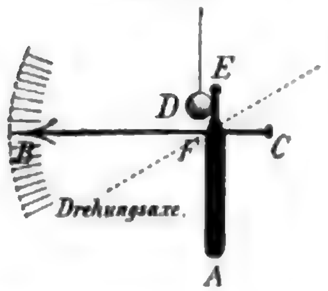
i) **G. Wagner's Erdbebenmesser.** Nachdem Knipping aus seinen vielfältigen Beobachtungen in Japan die Lehre gezogen hatte, dass bei

---

*) Bertelli's Apparat, von dessen stetigem und exaktem Funktioniren sich der Verf. im Barnabitenkloster zu Florenz persönlich zu überzeugen Gelegenheit hatte, ist auch von De Rossi in seinem mikrosismischen Institute zu Rocca di Papa im Albanergebirge — vgl. Favaro's Beschreibung desselben [150] — aufgestellt worden und liefert gute Resultate. Man muss jedoch viele Vorsicht anwenden, um nicht Oscillationen, welche in Wahrheit eine ganz andere Ursache haben, auf Erschütterungen intrakrustaler oder ryakokrustaler Natur zurückzuführen. Man denke nur z. B. an jene schwachen Bodenbewegungen, von denen in Kap. IV. §. 2 der zweiten Abtheilung nach D'Abbadie und Plantamour die Rede war, und die keinesfalls zu den mikroseismischen gerechnet werden dürfen. Aber auch die mit der Sonnenbestrahlung variirende Bewegung festen Mauerwerkes, welche den Astronomen wohl bekannt ist und mit die Veranlassung war, dass man neuerdings die Sternwarten mehr und mehr auf ebener Erde anlegt, kommt in Betracht, wenn der Registrirapparat in einem Thurme oder hohem Hause sich befindet. Untersuchungen, die Rockwood mit feinen Libellen angestellt hat, liessen erkennen [151], dass ein Punkt im Mauerwerke eines Thurmes jeden Tag eine kleine Ellipse beschrieb, deren grosse Axe 2,54 Centimeter, deren kleine Axe 1,06 Centimeter betrug, so zwar, dass die letztere ungefähr mit der Mittagsebene zusammenfiel. War der Thurm nicht isolirt, sondern an ein niedrigeres Gebäude angebaut, so erlitt die Insolationskurve eine Verzerrung, deren Charakter sich schon von vorn herein annähernd bestimmen liess. Sonderbarerweise haben Förster und Gould in den Schwankungen der Sternwartenpfeiler eine derjenigen der Sonnenfleckenfrequenz entsprechende Periode von 11 Jahren bemerkt (D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 6. Jahrgang. S. 172 ff.).

häufiger Wiederkehr der Erdbeben auf alle die bekannteren Mechanismen kein rechter Verlass sei [152], gieng G. Wagner [153] an die Konstruktion einer minder leicht versagenden Vorrichtung. AE und BC (Fig. 75) sind zwei in F einander rechtwinklig durchsetzende Stäbe, EF und CF sind kurz, während der Arm BF eine bedeutende Länge besitzt. Durch F geht eine horizontale Axe, und das ganze System befindet sich im Gleichgewichtszustande. Von der Decke hängt eine schwere Kugel D herab, welche im normalen Zustande EF gerade tangirt, ohne es auch nur im Geringsten von seiner vertikalen Richtung abzulenken. Jeder noch so leichte Horizontalstoss stört das Gleichgewicht, und der lange Arm BF macht ansehnliche Schwingungen, deren Amplitude ein Maass für die Stärke des Stosses giebt.

Fig. 75.



Für Vertikalstösse dagegen empfiehlt Wagner [154] einen Schwimmkörper, dessen Form die des Rotationskörpers von geringstem Widerstande sein soll (Meridiankurven solcher Körper haben Euler [155] und Grunert [156] zu bestimmen gelehrt); die Bewegung desselben soll dann auch wieder durch ein Hebelwerk auf einen Zeiger vergrössert übertragen werden. Als sehr brauchbar ward Wagner's Instrument auch von den Engländern anerkannt [157]; noch mehr ist es diess durch eine von Peal [158] daran angebrachte Verbesserung geworden, durch welche auch dem chronographischen Elemente Rechnung getragen wird.

k) **Neuere englische Seismographen.** Dieselben, über die wir hier nur nach Zöppritz's Referaten [159] berichten können, sind von Gray und Milne auf die Beobachtung japanischer Erdbeben angewandt worden und wesentlich seismische Kurvenzeichner. Man hat mit ihrer Hülfe das auch schon den Italienern geläufige Resultat erhalten, dass die seismische Bewegung eine unregelmässige, schwankende ist, die in ihrem Verlaufe oft verschiedene Maxima und Minima aufweist. Unsicherer, weil mit den annalistischen Aufzeichnungen nicht harmonirend, ist jedenfalls der von den britischen Forschern aufgestellte Erfahrungssatz, dass die Erdbeben häufiger und mit grösserer Energie im Winter als im Sommer auftreten sollten. Merian's Erdbebenstatistik für Basel hat allerdings ein ganz analoges Ergebniss geliefert [160].

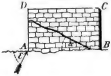
§. 6. **Geometrie und Mechanik der seismischen Punkt- und Liniensysteme.** Ohne zunächst noch irgend welche Hypothese über den Sitz und das wahre Wesen der seismischen Kraftäusserungen zu Hülfe zu nehmen, vermag man doch theoretische Normen für die Bestimmung gewisser seismologischer Fundamentalelemente aufzustellen. Am nächsten liegt offenbar der Gedanke, durch zusammenfassende Betrachtung von Korrespondenznachrichten jenen Punkt der Erdoberfläche aufzusuchen, in welchem das Erdbeben seine grösste Kraft entfaltete. und nunmehr die Ausstrahlung der Kraft nach verschiedenen Richtungen hin zu studiren. In diesem Sinne gieng als der Erste ein deutscher Mathematiker, Egen, planmässig vor, indem er die Stoss-

punkte für das rheinische Erdbeben vom Jahre 1828 zusammenstellte und dadurch gleich anfangs den positiven Erfolg erzielte, eine von Nöggerath aufgestellte Hypothese, nach welcher das Erdbeben mit einem Vesuv-Ausbruch zusammenhängen sollte, als unhaltbar zu erweisen [161]. Muncke, durch Egen's Arbeit angeregt, machte sodann darauf aufmerksam, dass auch die Erschütterungen von Lima (1746), Lissabon (1755) und Kalabrien (1783) einen centralen Ausgangspunkt erkennen liessen [162]. Eine bestimmtere geometrische Form erhielt die Sache jedoch erst durch Hopkins und durch Mallet in den Berichten, welche sie resp. in den Jahren 1847 und 1858 der „British Association“ vorlegten. Allmählig bildete sich auch eine brauchbare Terminologie heraus, deren wesentliche Bestandtheile wir anführen wollen. Legt man durch alle Punkte der Erdoberfläche, welche den Stoss im nämlichen Momente verspürten, eine Kurve, so ist diess nach Mallet eine Koseisme, nach Jul. Schmidt eine Isochrone, nach v. Seebach endlich, dessen Bezeichnungsweise den meisten Anklang gefunden hat, eine Homoseiste, während Punkte, in welchen sich das Phänomen gleich stark offenbarte, einer Isoseiste angehören [163]. Gesetzt nun, der eigentliche Heerd des Erdbebens sei ein Punkt (Erdbebencentrum) — eine Annahme, an der freilich sehr bald erhebliche Aenderungen angebracht werden müssen, und die nur als eine erste rohe Näherung gelten kann —, so müsste offenbar aus der Anordnung der Homoseisten auf die Lage dieses Centrums ein Schluss zu ziehen sein. Denken wir uns aus dem Centrum auf die Erdoberfläche ein Loth gefällt, die Erdbebenaxe („prime vertical“ nach Mallet), so schneidet diess ein im Epicentrum, welches also auf der Erdoberfläche gelegen ist; die Entfernung zwischen einer Homoseiste und dem Epicentrum mag nach v. Seebach [164] der Axialabstand heissen, während sich für die Distanz von Centrum und Epicentrum vielleicht der Name Centraltiefe empfehlen möchte. Die Richtung des Stosses bildet mit dem Horizonte einen wohl niemals völlig auf Null herabsinkenden Winkel, den Emersionswinkel. Für den Axialabstand a, die Centraltiefe h und den Emersionswinkel ε besteht ersichtlich, wenn die Erdoberfläche als völlig eben vorausgesetzt wird, die Relation $h = a \operatorname{tg} \varepsilon$; wäre $\varepsilon = 0°$, so würden Centrum und Epicentrum offenbar zusammenfallen, während ein völlig vertikaler Stoss ($\varepsilon = 90°$) nach dieser Formel überhaupt nicht vorkommen kann, wenn nicht zugleich a den Werth Null hat; dann ist nämlich $h = 0 . \infty$, also gleich einer endlichen Grösse. Es ist ferner einleuchtend, dass, wenn die Fortpflanzung der Stösse in homogenem Mittel vor sich gienge, die entstehenden Kugelwellen den planen Erdboden in koncentrischen Kreisen schneiden müssten. Thatsächlich sind nun freilich die Homoseisten nur ganz ausnahmsweise kreisförmig, doch müssen sie wohl oder übel betrachtet werden, als hätten sie diese Form, indem sonst die Auffindung des Epicentrums nicht möglich wäre. Um unsere Kenntniss von diesem Theile seismischer Nomenklatur abzurunden, sei noch bemerkt, dass der geometrische Ort der Punkte stärkster Erschütterung als Pleistoseiste bezeichnet wird, und dass man von Orten, welche mitten im Schüttergebiete vom Erdbeben ganz unbehelligt blieben, zu sagen pflegt, sie lägen auf einer Erdbebenbrücke.

Unter der, wie erwähnt, nur sehr bedingt zulässigen Voraussetzung, dass eine Homoseiste ein Kreis sei, ist die Lage des Epicentrums leicht zu finden. Man zieht zwei Sehnen AB und CD, halbirt AB in E und CD in F und errichtet in E und F Senkrechte auf den Sehnen; der Durchschnittspunkt dieser Senkrechten ist das Epicentrum. Von diesem zum Centrum selbst kann man durch Anwendung verschiedener Methoden gelangen, deren eine topographische, eine andere chronometrische Messungen zur Vorbedingung hat.

a) **Methode von Mallet.** Man untersucht an dem vom Erdbeben betroffenen Orte zunächst, ob sich Mauern und Wände mit deutlich erkennbaren Spalten vorfinden. Ist diess der Fall, so ist das Weitere einfach, und Mallet hat denn auch in seinem Werke über das neapolitanische Erdbeben auf diese Weise sehr brauchbare Werthe erhalten. Es sei nämlich in Fig. 75, welche wir dem für die mathematische Seite der Aufgabe sehr instruktiven Werke von Falb [165] entnehmen, ABCD eine vertikale Mauer, in welcher sich ein mit dem Horizont den Winkel α bildender Riss zeigt. Man kann dann sicher sein, dass die Stossrichtung mit dem gezeichneten Pfeile übereinstimmt, der selbst mit AB den Emersionswinkel ε einschliesst, und dann ist $\alpha + \varepsilon = 90°$; dabei ward, was allerdings nur selten der Fall sein wird, die Ebene ABCD als mit der Vertikalebene des Stosses zusammenfallend angenommen; im allgemeineren Falle würde die Berechnung von ε durch sphärische Trigonometrie zu bewerkstelligen sein. Der Dienst, den uns hier die Maueröffnung leistete, kann natürlich auch durch irgendwelche andere dem Erdbeben entsprungene Ortsveränderung geleistet werden, wie denn z. B. Falb in einem Hause zu Belluno ein auf Füssen stehendes Kästchen traf, welches in Folge der Schwankung des Tisches, auf welchem es sich befand, von diesem herabgerutscht war und dabei seinen Weg durch eingekritzelte Parallelstreifen auf dem Tische verrathen hatte. Da der letztere selbst unverrückt stehen geblieben war, so hatte der beobachtende Forscher ein Mittel zur Bestimmung des Emersionswinkels, wie er es sich nicht besser wünschen konnte. Ist aber ε bekannt, so hat man, da der Axialabstand a aus der Karte entnommen werden kann, der obigen Beziehungsgleichung zufolge auch die Centraltiefe h. Führt man diese Berechnung für mehrere Homoseisten durch und zieht aus den Einzelresultaten ein wahrscheinlichstes dadurch, dass man die Homoseisten mit ihren Radien proportionalen Gewichten versieht, so erhöht sich die Genauigkeit.

Fig. 76.



Eine besondere Formel entwickelt Mallet für den Fall, dass ein fester Körper von einigermassen geometrisch-regelmässiger Gestalt durch den Erdstoss umgeworfen worden ist. Die Masse dieses Körpers sei M, der Abstand seines Schwerpunktes von der Umkippungsaxe a, die Geschwindigkeit der seismischen Bewegung im Momente des Stosses sei v, dann ist die lebendige Potenz des Stosses $= \frac{1}{2} Mv^2$. Die von demselben geleistete Arbeit besteht eben in der Umkippung des Körpers; da lebendige Potenz und Arbeitsgrösse einander gleich sind, da

ferner die Arbeit der Strecke a offenbar umgekehrt proportional ist, so besteht die Gleichung $\frac{1}{2} Mv^2 = \frac{T}{a} \cdot f(\varphi)$, wo T das Trägheitsmoment des Körpers mit Bezug auf die Drehaxe, $f(\varphi)$ aber eine noch zu fixirende Funktion des Winkels φ bedeutet, welchen die Gerade, auf der a abgemessen ist, mit der Vertikalen bildet. Mallet findet so

$$v = \sqrt{\frac{2T}{aM} \cdot \frac{g(1 - \cos\varphi)}{\cos^2\varphi}}.$$

Noch ist allerdings der Emersionswinkel nicht bestimmt. Wenn aber gleichzeitig bekannt ist, dass eine Kugel, die vorher vom Boden den vertikalen Abstand b hatte, von ihrem Platze heruntergeworfen und an einen Ort geschleudert wurde, der von jener Vertikalen b den Horizontalabstand c besitzt, so wird

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{b}{c} - \frac{cg}{2v^2}.$$

Nähere Erörterungen können nachgesehen werden in dem Abschnitte „Erdbebenkunde“, den v. Seebach für Neumayer's Handbuch des Forschungsreisenden bearbeitet hat [166].

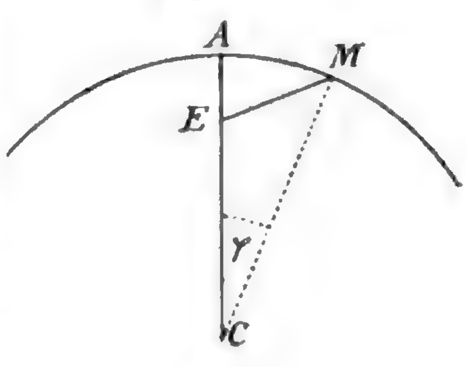
b) **Methode von Falb.** Von einem Orte A gesehen, habe der Ort B das Azimut α, von B aus gesehen habe der Ort A das Azimut β. Das Azimut der horizontalen Stosskomponente sei in $A = \alpha_1$, in $B = \beta_1$. Die Längenentfernung von A und B heisse d. Bringt man dann an den von Falb gegebenen Formeln einige kleine Umformungen an und bezeichnet mit ε_1 und ε_2 die den Punkten A und B entsprechenden Emersionswinkel, so ist [167] die Centraltiefe

$$h = d \cdot \frac{\sin(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\sin\varepsilon_1 \sin\varepsilon_2} \cdot \frac{\cos\frac{\alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2}{2}}{\cos\frac{\alpha_1 - \beta_1 - \alpha_2 + \beta_2}{2}}.$$

Das Verfahren hat den Vortheil, von der vorhergehenden Verzeichnung der Homoseisten und Ermittelung des Epicentrums unabhängig zu sein. Eine zweite Falb'sche Methode behandeln wir um desswillen hier nicht eingehender, weil sie zu enge mit den immer unzuverlässigen Schallerscheinungen verkettet ist [168].

c) **Methode von v. Seebach.** Durch diese, deren mathematische Formulirung Minnigerode übernommen hatte, sollen gleichzeitig die — konstant angenommene — Fortpflanzungsgeschwindigkeit c, der Zeitpunkt des ersten Anstosses t und die Centraltiefe h gefunden werden, und zwar ausschliesslich durch Diskussion eines Systemes von Zeitangaben, ohne die Beobachtung der immer nur misslich zu erforschenden Spaltenrichtungen. C (Fig. 76) ist der Erdmittelpunkt, E das Epicentrum, A der Punkt der Erdkugelfläche, in welchem diese von der Geraden CE getroffen wird, M irgend ein erschütterter Punkt. AM, der Axialabstand, ist bekannt (= a); dann hat man zur Bestimmung des Winkels $ACM = \varphi$ die Proportion $\varphi : 360 = a : 2\rho\pi$ (ρ Erdhalbmesser), woraus $\varphi = \frac{180a}{\rho\pi}$ folgt.

Fig. 77.



Die Distanz EM ist gleich ct, der Cosinussatz ergiebt für das Dreieck EMC:

$$r^2 = \rho^2 + (\rho - h)^2 - 2\rho(\rho - h)\cos\varphi.$$

Rechnet man zur Rechten aus, berücksichtigt, dass $1 - \cos\varphi = 2\sin^2\frac{1}{2}\varphi$ ist, setzt für r seinen Werth ct ein und zieht die Wurzel aus, so wird

$$ct = \sqrt{h^2 + 4\rho(\rho - h)\sin^2\frac{1}{2}\varphi}.$$

Nun setze man noch $2\rho\sin\frac{1}{2}\varphi = y$, dann ist

$$ct = \sqrt{h^2 + y^2\left(1 - \frac{h}{\rho}\right)}.$$

Der Bruch $\frac{h}{\rho}$ ist nach Allem, was wir über den stets intrakrustalen Sitz der seismischen Kraft wissen, sehr klein und darf deshalb vernachlässigt werden; so kann die letzterhaltene Gleichung auch in dieser Form geschrieben werden: $c^2t^2 - y^2 = h^2$. Das ist aber die Gleichung einer Hyperbel, deren Halbaxen h und $\frac{h}{c}$ sind. Die Ordinate y darf unter gewöhnlichen Umständen mit dem Axialabstande a identificirt werden, denn es ist $y = 2\rho\sin\frac{1}{2}\varphi = 2\rho\left(\frac{1}{2}\varphi - \frac{1}{48}\varphi^3 + - \ldots\right) = \rho\varphi$, wenn die weiteren Reihenglieder als einflusslos bei Seite gelassen werden. Wenn aber die Winkel in absolutem Maasse gegeben sind, so dass 180° durch π ersetzt wird, so hat man eben $a = \rho\varphi$.

Die ermittelte Hyperbel lehrt nun v. Seebach, dem wir bisher folgten, graphisch für die Bestimmung der seismologischen Fundamentalelemente zu verwerthen. Er lässt den Mittelpunkt der Kurve mit dem Epicentrum zusammenfallen, trägt auf der Abscissenaxe Längeneinheiten (Myriameter) und auf der Ordinatenaxe mit gleichem Maassstabe Zeiteinheiten (Minuten) auf, konstruirt die zugehörige Kurve und sieht nun zu, ob die in den bezüglichen Punkten errichteten Senkrechten sich genau auf dem Umfange der Hyperbel durchschneiden. „Der Grad der Genauigkeit, mit der diess geschieht, giebt hiebei zunächst einen Maassstab für die Güte der Zeitbestimmungen an und muss für sich und bei guten Zeitbestimmungen zugleich auch erkennen lassen, ob der Oberflächenmittelpunkt richtig bestimmt worden ist oder nicht“ [169]. Nachdem die Hyperbel gezeichnet vorliegt, sind die drei Grössen c, t und h durch einfache Zeichnung erhältlich. c ist nämlich die Tangente des halben Asymptotenwinkels, t ist gleich einer beliebigen Abscisse, dividirt durch c, und h ist, wie wir bereits wissen, durch eine der Halbaxen gegeben. v. Seebach und Minnigerode haben somit das Folgende geleistet: Durch punktweise Konstruktion einer Hyberbel die Fundamentalgrössen direkt und graphisch zu ermitteln *).

---

*) v. Seebach's Hyperbel ist eine ganz andere, als diejenige, zu welcher Hopkins in seinem Berichte von 1847 sich geführt sah. Falb begeht also in dem von uns mehrfach citirten Buche eine Verwechselung, indem er die Kurven

Kortum hat in einer dem uns bekannten Werke v. Lasaulx's eingefügten Spezialuntersuchung allerdings gezeigt [172], dass kleine Fehler in den Zeitangaben schon einen sehr erheblichen Einfluss auf die berechnete Centraltiefe ausüben. Derselbe thut weiter dar, dass und wie mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate die nothwendigen Korrekturen anzubringen seien. —

Der wunde Punkt all' dieser vom theoretischen Standpunkt aus so schönen Theorieen ist nun freilich der, dass ein eigentliches Erdbebencentrum nicht existirt, indem der Heerd der Stösse oft einen ziemlichen Umfang besitzt. Heim hebt z. B. hervor, dass selbst bei jenen schweizerischen Erdbeben, welche nicht auf grosse Dislokationen im Erdinneren hindeuten, trotzdem das Intensitätscentrum nicht durch einen Punkt, sondern durch eine langgestreckte Zone repräsentirt gedacht werden musste [173]. v. Seebach hat wenigstens eine Andeutung darüber gemacht, wie sich die Gestalt des Erdbebenheerdes in jener der Homo- und Isoseisten wiederspiegeln müsste. Wir verweisen für diese mehr geologische Seite der Frage auf §. 9, halten aber daran fest, dass die mathematische Erörterung immerhin ihre hohe Brauchbarkeit zur Eruirung angenäherter Werthe unter allen Umständen beibehält.

§. 7. **Theoretische Spekulationen über die Natur der Erdbeben.** Wir glauben den Zweck, welchen dieser Paragraph sich vorgesetzt hat, am besten dadurch zu erreichen, dass wir für die frühere Zeit eine synchronistische, für die spätere dagegen eine sachliche Anordnung wählen. Die meist willkürlichen und nicht auf eigentlicher Analyse des zu durchdringenden Phänomenes beruhenden Erklärungen, welche das Alterthum und Mittelalter liebte, lassen sich so am besten überblicken.

a) **Hypothesen der Orientalen.** Einige Nachrichten über dieselben findet man zusammengestellt in der Abhandlung von Lersch [174], welche sich uns auch in ihren übrigen Theilen sehr brauchbar erwiesen hat. Im Wesentlichen herrscht, sowohl bei den alten Japanern, wie auch bei den Indern und Talmudisten, die Mythologie vor, indem ein unter der Erde befindliches Ungeheuer (Leviathan, Celebrant) durch Zuckungen seine Anwesenheit zu verspüren geben soll. Die heilige Schrift beschreibt hie und da Erdbeben in sehr zutreffender Weise (vgl. besonders Psalm 113), doch ist es kaum möglich, wie unlängst versucht worden ist [175], aus solchen gelegentlichen Aphorismen heraus eine „biblische Erdbebentheorie" zu formuliren.

b) **Griechische Hypothesen.** Hier stehen wir, auch wenn wir uns an die älteste Zeit halten, schon auf weit festerem Boden, weil Aristoteles uns über die bis zu seinem Auftreten gehegten Meinungen genaue Mittheilungen gemacht hat [176]. Im archaistischen Zeitalter betrachtete man solch' furchtbare Ereignisse, wie die Erdbeben, freilich auch mit abergläubischem Auge, man opferte dem „Erderschütterer" Poseidon, um solche Schrecknisse abzuwenden, oder bildete sich wohl

---

des englischen und des deutschen Geologen einem und demselben Zwecke dienen lässt [170], indessen nimmt er bei einer späteren Gelegenheit seine frühere Behauptung ausdrücklich zu v. Seebach's Gunsten zurück [171].

auch ein, der unter dem Aetna begrabene Gigant Enkelados mache das Land umher erzittern. Aber schon von Anaximander berichtet Ammianus Marcellinus [177], er habe die Erdbeben auf die in Folge langer Dürre oder auch heftiger Regengüsse entstehenden Risse des Erdbodens zurückgeführt. Anaximenes bildete diese Vorstellung weiter aus, indem er die Annahme hinzufügte, dass das durch besagte Spalten in's Innere der Erde hinabträufelnde Wasser Rutschungen und Einstürze veranlasse. Demokrit schrieb die Hauptschuld bei der Erzeugung von Erdbeben den Regengüssen zu, welche das bereits durchfeuchtete und mit Wasser vollgesogene Erdreich treffen. Anaxagoras dagegen ist der Urheber jener Lehre, zu welcher sich nachmals auch Aristoteles selbst bekannte, dass nämlich die Luft sich in den Höhlungen des Erdkörpers verfange und nunmehr ungestüm einen Ausweg suche *). Auf einen analogen Standpunkt stellte sich, wenn uns Lucrez die Wahrheit berichtet, der sonst von den Lehren des Stagiriten vielfach abweichende Epikur [182]; derselbe war übrigens verständig genug, zuzugeben, dass durchaus nicht jedes Erdbeben auf die nämliche Ursache zurückgeführt zu werden brauche [183]. Gleicherweise erklärte sich Strabon nur bedingt für Aristoteles, während er — und diess ist mit Rücksicht auf die in §. 3 abgehandelte Suess'sche Theorie der Alluvionalbeben äusserst merkwürdig — auch eine neptunistische Deutung mancher Erscheinungen auf die Reisemittheilungen des Aristobulos begründete. Auf Wärmedifferenzen im Erdinneren als auf den Grund von Kataklysmen wies Straton hin [184], der von allen Griechen wohl am schärfsten über die Fragen der dynamischen Geologie nachgedacht hatte (vgl. die Einleitung). Die Byzantiner, welche durch den berühmten Ingenieur Anthemios bereits einige Begriffe von der Expansivkraft des Wasserdampfes besassen, scheinen das Erzittern des Bodens in rationellerer Weise statt mit dem unbestimmten aristotelischen Begriff der Luft, mit demjenigen der aus erhitzten Flüssigkeiten aufsteigenden Dämpfe in Zusammenhang gebracht zu haben [185].

---

*) Nehring macht [178] die der näheren Erwägung wohl nicht unwürdige Bemerkung, dass vielleicht die ab und zu in den Gebirgen zu findenden Wind- oder Wetterlöcher den Alten ihren Irrthum betreffs der innigen Verwandtschaft von Luftströmungen und Erdbeben nahegelegt haben möchten. „Wenn man," sagt ein ortskundiger Beschreiber [179], „an heissen Sommertagen in nächster Nähe einer solchen Spalte vorübergeht, fühlt man einen ziemlich starken kalten Luftzug, der aus derselben herausdringt; im Winter hingegen findet das Gegentheil statt, nämlich die äussere Luft dringt in die Spalte hinein." Eine sehr merkwürdige Höhle dieser Art hat Krejčí bei Gelegenheit der böhmischen geologischen Landesaufnahme entdeckt; nur ist die Temperatur der dortselbst ausströmenden Luft keine so sehr veränderliche. Die feuchtwarme Luft bildet manchmal sogar eine Rauchsäule über dem Gipfel der Anhöhe, doch ist an solfataren- oder mofettenartigen Ursprung nicht zu denken [180]. Für Nehring's Auffassung liesse sich neben Anderem auch der originelle Aufsatz „Von den Gletscheren auf dem Grimselberg, und denen alldorten sich befindenden Crystall-Gruben" anführen, welchen der uns aus der geschichtlichen Einleitung (S. 28) wohl bekannte Luzerner Naturforscher Cappeler in Altmann's Monographie der schweizerischen Gletscherwelt einrücken liess [181], denn dort wird angenommen, die den Berg durchstreichende Luft setze sich in abgeschlossenen Höhlen und Kammern fest, und dort würden ihr die zur Bildung der Krystalle nothwendigen Bestandtheile entzogen.

c) **Römische Hypothesen.** Lucretius billigte die Zurückhaltung seines Meisters Epikur, er hielt Einsturz-Erdbeben, vulkanische Erdbeben und durch das Einströmen von Winden hervorgebrachte Erdbeben für möglich [186]. Plinius begnügte sich seiner Gewohnheit gemäss damit, ältere Doktrinen einfach zu reproduciren, aber Seneca suchte der Sache mehr auf den Grund zu gehen. Ganz richtig erkannte er [187], dass der Sitz der Erdstösse in gar nicht beträchtlicher Tiefe zu suchen sei. Im Uebrigen nahm er an, dass sein „motus succussorius" (s. o. §. 2) auf einen lokalen Einsturz, der „motus inclinatorius" dagegen auf die Wirkung eingeschlossener gespannter Gasmassen hindeute. Die lebendige Kraft derselben kennzeichnet er treffend mit den Worten [188]: „Nobis quoque placet hunc spiritum esse, qui possit tanta conari, quo nihil est in rerum natura potentius, nihil acrius, sine quo nec illa quidem, quae vehementissima sunt, valent." Darüber, dass Seneca's „spiritus" etwas ganz anderes ist, als der Wind des Aristoteles, äusserten wir uns schon in §. 9 des vorigen Kapitels.

d) **Arabische Hypothesen.** Bei den Arabern dürfen wir nicht erwarten, etwas anderes als griechische Lesefrüchte, hie und da in etwas missverstandener Form, aufzufinden. Das Beste, weil zugleich Sinn für ein deskriptives Verfahren Bekundende, was uns von Jenen aufbehalten ward, ist As-Soyutí's genaue Beschreibung des mesopotamisch-syrischen Erdbebens vom Jahre 1157 oder 1158 n. Chr., mit welcher uns Sprenger bekannt gemacht hat [189]. Kazwîni lässt uns [190] die Wahl zwischen zwei Annahmen: entweder entsteht ein Erdbeben durch einen chemischen Process in den Eingeweiden der Erde, der an die in den Adern eines kranken Menschen tobende Fiebergluth erinnert, oder aber durch Einstürze und Bergschlipfe. Mit orientalischem Gleichmuth versteht sich der Autor über die Pflicht eingehender Prüfung hinwegzusetzen: „Gott aber weiss besser, wie es sich in Wahrheit mit diesen Dingen verhält."

e) **Hypothesen des abendländischen Mittelalters.** Beda Venerabilis kennt die aristotelische ebenso wie die Einsturz-Hypothese [191]. Aehnlich Hrabanus Maurus, der nur ein wenig vielseitiger ist, indem er dreierlei Gründe zulässt: „die Erdbeben können entweder durch die Bewegung der Winde im Inneren der Erde, oder aber durch das Schwappen des Wassers *), oder aber durch Einstürze des durchwühlten und unterwaschenen Bodens erklärt werden" [193]. Die

---

*) Diese oscillirende Bewegung der Bodendecke entnimmt Hraban möglicherweise einer zu ihm durchgedrungenen Notiz über die Erdbebentheorie des Demokrit (s. o.), oder auch den strabonischen Nachrichten über die Spaltung und Zerbröckelung inundirter Schwemmländer. Bis in die neuere Zeit herein erhielten sich Ansichten dieser Art, wie denn z. B. in einer 1670 publicirten und durch Wieder-Abdruck der jetzigen Generation näher gerückten Beschreibung der Nilquellen Nachstehendes zu lesen ist [192]: „Die Einwohner sagen, der gantze Berg sey voll Wassers und gaben zum Zeichen dessen dieses zu betrachten, dass der gantze Platz um den Brunnen herum zitterte, welches eine offenbare Anzeigung, dass Wasser darunter verborgen. . . . Erwehnte Einwohner, wie auch der Kaiser selbst, welcher mit seinem Heer zugegen war, berichteten, die Erde hette selbiges Jahr nicht sonders viel gebebt wegen der grossen Dürre und trocknen Jahrs-Zeit; aber in andren Jahren zittre und bebe sie dermassen, dass man zu diesem Orte kaum ohne Gefahr kommen könne." Die ganze Erde als einen von Wasser vollgesogenen Schwamm sich zu denken, war eine Lieblingsvorstellung des Mittelalters.

Scholastiker, voran der heilige Thomas, folgten auch in diesem Falle unentwegt den Spuren ihres Lehrers Aristoteles [194], von dessen Theorie Froidmont noch vierhundert Jahre später sagen konnte [195]: „Sententia Aristotelis verissima est, spiritum subterraneum esse causam terrae motus effectricem.“ So sehen wir auch manchen Gelehrten im Gefolge des Aristoteles dahinwandeln, der im Uebrigen nicht der peripatetischen Schule zuzurechnen ist; Ristoro d'Arezzo z. B. fertigt den Gegenstand kurz ab, wie folgt [196]: „Ed alcuna stagione si vede e sente tremuoti, e sente tremare la terra, e tremare tutta la provincia, e cadere monti, e case, e torri, e già furo vedute profondare cittadi: e sentonsi tremuoti piccoli, li quali non fanno danno; e già avemo veduto e sentito uscire il vento della terra.“ Es möchte uns fast wundernehmen, dass Ristoro keine astrologische Deutung des Vorganges zu Hülfe nimmt, denn erstens sagen ihm sonst derlei Erklärungsweisen am meisten zu, und zweitens hätte es ihm an Vorbildern in dieser Hinsicht nicht gefehlt. Favaro hat wenigstens in einem Codex laurentianus eine „φυσικὴ θεωρία περὶ τῶν φαινομένων σεισμῶν ὡς οἱ παλαιοί“ aufgefunden, worin Alles strenge in astrometeorologischem Sinne abgehandelt wird [197].

Wir verlassen das Mittelalter und wenden uns der neueren Zeit zu. Zu Beginne derselben hatte das theoretische Wissen vom Erdbeben also den Stand erreicht, dass man entweder der aristotelischen Lehre vom Windfang beipflichtete, oder an die Expansion gespannter Gase und Dämpfe dachte oder endlich chemische Vorgänge als im Spiele befindlich annahm, wie diess besonders Cardanus that, welcher Salpeter, Erdharz und Schwefel in absteigender Linie als die seismischen Motoren bezeichnete [198]. Bemerkenswerth ist, dass Galilei, offenbar mit Rücksicht auf Aristoteles, gelegentlich die Frage formulirte [199]: „Sè la cagione de' terremoti si deva stimare essere sopra o sotto la terra?“ Die thermodynamische Anschauung des Straton scheint sich lediglich der bergbaukundige Agricola angeeignet gehabt zu haben [200]. Wir bemerken noch abschliessend, dass der bekannte Chemiker van Helmont eine scharfe und nach dem Urtheile von Lersch [201] zutreffende Kritik an allen ihm bekannten Erdbebentheorieen übte, ohne freilich selbst etwas Positiveres bieten zu können. Die modernen Hypothesen glauben wir am besten in vier gesonderte Gruppen bringen zu können, wobei manche in ihrer Originalität absurde Theorie freilich ausgeschlossen wird. Dahin gehört z. B., was Kant [202] über die Phantasmen eines gewissen Gautier, eines Malers, aussagt, der aus dem stärkeren Anprall der Sonnenstrahlen gegen die Westküste der Kontinente sowohl die Umdrehung der Erde um ihre Axe, als auch die Erschütterungen der Erdfeste herleiten wollte.

f) Die elektrischen Theorieen der neueren Zeit. Zu Gunsten der Annahme, dass bei den Erdstössen auch die Elektricität eine Rolle spiele, hat man schon von jeher die Erzählung des Tacitus von den bei'm Untergange der Städte Helice und Bura gesehenen Lichterscheinungen zu verwerthen gesucht, welche also lautet [203]: „Eodem anno duodecim celebres Asiae urbes collapsae nocturno motu terrae: quo improvisior graviorque pestis fuit. Neque solitum in tali casu effugium subveniebat . . . effulsisse inter ruinam ignes, memorant.“ Eine

Fülle ähnlicher Nachrichten liegt in der Literatur vor, allein in physikalischer Hinsicht scheint uns damit sehr wenig bewiesen, weil ja bekannt ist, wie leicht in Folge von Erdstössen Feuersbrünste gewöhnlicher Art entstehen. Die Priestley-Lichtenberg'sche Periode machte mit der elektrischen Interpretation der seismischen Phänomene Ernst. Priestley selbst erblickte darin einen den Gewittern entsprechenden Ausgleich zwischen den „Elektrifikationen" der Luft und der Erde [204], Sarti glaubte die ungeheure Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen lediglich mit derjenigen der elektrischen Fluida in Parallele stellen zu können [205], Vassalli-Eandi betrachtete als wesentliches Motiv der Erschütterungen eine Art elektrolytischen Processes [206]. Unter den weiteren überzeugungstreuen Anhängern der Elektricitätshypothese sind zu nennen Stuckely [207], der wie Priestley an einen Ausgleich starker elektrischer Spannungen dachte, Bina [208], der sich die Erde mit Wasserbehältern in Schwefel- und Bitumen-Verschluss ausgefüllt dachte, welche nach der Art einer Leydener Flasche wirken sollten, Cavallo [209], der nach Beccaria sogar einen Vorlesungsversuch zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse angab, und der französische Ingenieur Ch. F. Lambert, der zufolge einer Angabe von Muncke [210] den Hergang folgendermassen erklärte: „Dadurch, dass die östlichen Winde die flachere Seite Südamerika's in grösster Feuchtigkeit, dagegen die Westküste des grossen Kontinents nur zu gewissen Zeiten feucht erhalten, soll sich die Elektricität in Folge der die zwischen beiden liegende Station stets trocken erhaltenden Winde, namentlich der östlichen, auf den gebogenen Kämmen der Andeskette anhäufen, weil sie weder durch trockene Luft, noch auch durch die trockene Erde entweichen kann . . . Sie durchströmt dann die metallischen Adern, feuchte Erdschichten, Flüsse und Wasseransammlungen, bahnt sich mit Gewalt einen Weg, wenn sie keinen findet, und erzeugt durch die starken Entladungen Bebungen des Bodens, Spalten, Zerreissungen, Verflüchtigungen der Körper, die hiezu geeignet sind, chemische Zersetzungen z. B. Verbrennungen des Schwefels und Anthracits, mit Einem Worte alle die Erscheinungen, welche wir bei den Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen wahrnehmen". — In dem Maasse, in welchem die Elektricitätslehre immer neue Gebiete sich dienstbar machte, wurden auch die Erdbebentheorieen vielseitiger. Matteucci brachte die schnelle Wiederholung der Erdstösse mit den Entladungsschlägen einer galvanischen Batterie in Zusammenhang [211]. Neuerdings ist aber besonders der Elektromagnetismus zum Helfer in der Noth geworden, wie denn z. B. Stoppani [212] die Frage aufwirft: „Potrebbe un grande squilibrio elettromagnetico produrre un terremoto? Non si troverebbe ragione per negare una tale possibilità." Systematisch ist diese Auffassung von Pilar [213] zu begründen versucht worden, der die Erde für ein Riesen-Solenoid erklärt und dafür hält, dass die den Erdkörper umkreisenden Elementarströme in etwelche Unordnung gerathen; doch scheint es, dass der genannte Geologe keinesfalls in der Existenz jener Ampère'schen Ströme die primäre Ursache der Erdbeben erblickt (s. u. §. 9). In nicht sehr klarer Weise bringt auch eine unlängst erschienene Schrift von Gringmuth die Erdbeben in Beziehung zu den Schwankungen des Erdmagnetismus.

g) **Die chemischen Theorieen der neueren Zeit.** Von Lémery's vulkanistischer Hypothese, welche derselbe auch als für die Erdbeben gültig erachtete, war in §. 9 des vorigen Kapitels die Rede. Kries gieng in seiner oben erwähnten Schrift über die Ursache der Erderschütterungen (s. o. §. 4) von Davy's chemischer Theorie des Erdinneren aus, nach welcher die Metalloide das Wasser zerlegen und dadurch Wasserstoffgas erzeugen sollen; dasselbe verbände sich mit eindringendem Sauerstoff und hinwiederum mit diesem zu rasch verpuffendem Knallgas*). Ami Boué will der chemischen Affinität neben der allerdings auch von ihm stark betonten Bewegung des elektromagnetischen Fluidums einen Platz unter den erzeugenden Agentien des Phänomenes gewahrt wissen [215]. Gründlicher durchdacht ist Janeček's Verbrennungstheorie [216]. In heissen Erdinneren, so argumentirt der kroatische Chemiker, dürften sich die chemischen Elemente vielfach, statt in eigentlichen Verbindungen, blos in mechanischen Gemengen, ähnlich unserer atmosphärischen Luft, vorfinden. Wird aber eine solche Mischung explosiv, so tritt vermuthlich eine Reassociation der Bestandtheile ein, die nicht ohne mechanische Folgen bleiben könnte. Die Verbrennung nach der Entzündung ist keine vollständige, vielmehr geht der Verbrennungsprocess ruck- und absatzweise vor sich, und damit stünde vielleicht der in §. 2 erörterte Umstand in Verbindung, dass bei den Erdbeben der erste und stärkste Stoss häufig von schwächeren Nachstössen begleitet wird.

h) **Die magmatischen Druck- und Explosionstheorieen der neueren Zeit.** Ueber diese dürfen wir uns kürzer fassen, da die magmatischen Theorieen des Vulkanismus im Grossen und Ganzen auch die seismischen Processe zu umfassen pflegen. Die Urquelle dieser Anschauung, welche in den Vulkanen Sicherheitsventile gegenüber den Erdbeben sehen zu sollen glaubte, ist Kircher's „Mundus subterraneus", aber v. Humboldt und v. Buch haben dieselbe durch das Schwergewicht ihrer Autoritäten erst zu einer zeitweilig herrschenden gemacht. Allerdings macht sich der Erstere selber den Einwurf [217], dass die unterirdische Kraft meistens nicht in unmittelbarer Nähe sich am stärksten zu bethätigen pflege, doch hindert ihn diess nicht, den Jahrzehnte lang mit Andacht wiederholten und von Vielen fast zu einer Art geologischen Dogma's erhobenen Satz zu formuliren (a. a. O.): „Die thätigen Vulkane sind als Schutz- und Sicherheitsventile für die nächste Umgegend zu betrachten." Selbst in einer der neuesten Zeit angehörigen Broschüre von Möhl begegnen wir Sätzen, wie den folgenden [218]: „Bei den Erdbeben haben wir . . . gleichsam den Versuch zu der im Vulkane beschriebenen Dampfquellbildung zu erblicken. Die in unterirdischen Höhlen angesammelten Dämpfe detoniren, es erfolgt ein Stoss, mehrere Stösse, es wird jahrelang gerüttelt, bald

*) Psychologisch schwer erklärlich ist es, dass Davy, nachdem er seine chemische Theorie der Vulkanbildung ausgebildet hatte, gerade für die Erdbeben sich selbst von seinen Principien lossagte und eine auf sehr schwachen Füssen stehende dynamische Hypothese in Aufnahme zu bringen versuchte. Er hatte durch Versuche ermittelt, dass Thon sich ausdehnt, wenn er mit Wasser befeuchtet wird; daraus schloss er, dass die im Inneren der Erdrinde befindlichen Thonlager das meteorische Wasser in sich aufnehmen, an Volumen zunehmen und so das interne Gleichgewicht stören (214).

hier, bald dort, die Dämpfe finden einen Ausweg, und die Ruhe ist wieder hergestellt, oder aber, die Dämpfe können nicht detoniren, sie drücken aber kontinuirlich, sie bewirken die langsamen Hebungen, denen anderorts Senkungen die Hand bieten." Man glaubt den alten Seneca reden zu hören, dessen im Hohlvolumen abgesperrter „Spiritus" sich einen Ausweg sucht.

Unrecht wäre es, die allerdings auch auf Annahme einer Explosion hinauslaufenden Hypothesen Carl's und vom Rath's mit der Ventiltheorie zusammenzuwerfen. Boutigny hatte aus einem eigenthümlichen Ausbruch glühender Dampfmassen aus geschmolzener Lava, durch welchen dereinst einmal am Aetna ein grosses Unglück entstanden war, den Schluss gezogen [219], dass hier das sogenannte Leidenfrost'sche Phänomen in Mitte liege, und Carl machte von dieser Grundlage aus — ähnlich wie es vor ihm bereits Mallet angedeutet hatte, einen Versuch zur Erklärung der Erdbebengenese. Der rheinländische Arzt Leidenfrost bemerkte als der Erste [220], dass, wenn Wasser auf eine stark erhitzte Metallplatte fällt, kleine Tropfen des ersteren nicht verdampfen, sondern eine sphäroidale Form annehmen, wahrscheinlich, weil eine intermediäre Dampfschicht vorhanden ist. Erkaltet jedoch die Platte, so wird das Wasser plötzlich und mit Geräusch in Dampf verwandelt; tritt diese Erscheinung im Grossen ein, so ist nicht selten eine Zertrümmerung des Dampfkessels ihre Folge. So könnte nun nach Carl [221] das einsickernde Meteorwasser an der Oberfläche des Magma's sehr wohl zuerst den „sphäroidalen Zustand" annehmen und nachher, wenn aus irgend einem Grunde die örtliche Temperatur sich vermindert, die Veranlassung zu Explosionen und Eruptionen bieten. — vom Rath's Erklärung des Unglücksfalles auf Ischia kennen wir nur aus einem Citate Thomassen's [222]. Ueberhitzte Wassermassen, wie solche auf der thermenreichen Insel wohl nicht selten sich bilden, werden fortgeführt und gelangen an eine Stelle geringeren Druckes, wo sie sich mit grosser mechanischer Kraftentwickelung einen Durchbruch bahnen können.

i) **Die Einsturztheorieen.** Die beiden Gelehrten, welche die altgriechische Lehre vom Entstehen der Erdbeben durch intrakrustale Zusammenbrüche und Einstürze wieder zu Ehren brachten, waren Boussingault und Necker [223]*). Zu den eifrigen Befürwortern dieser Hypothese gehören natürlich die Neptunisten Mohr in seiner „Geschichte der Erde", Bischof, der in seinem Versuche, manche Erdbeben von Bergschlipfen herzuleiten, allerdings gegen die jetzt allseitig angenommene Definition des Wortes „Erdbeben" verstösst [225],

---

*) Lersch führt von einem seismologischen Schriftsteller, Namens Seyfert, über den er der leidigen Gewohnheit der Jetztzeit gemäss keine näheren literarischen Nachweise beibringt, dessen Namen wir aber auch im Poggendorff'schen Lexikon vergeblich aufsuchten, folgenden bezeichnenden Ausspruch [224] an: „Andere haben gemeinet, weil die Erde ein alter Kasten, und mithin auch ihrer innern Beschaffenheit nach baufällig sei, so entstehe daher eine oftmalige Veränderung in dem Eingeweide derselben, die hernach auch auf der Oberfläche merklich werde. Sie haben zu dem Ende unsern Erdboden mit einem alten Gebäude verglichen, und gemeinet, dass so wie jenes von selbst einfalle, also auch die Erde Risse bekomme und das Einstürzen derselben begreiflich gemacht werden könne."

und Volger [226]. Das dreibändige Werk des Letzteren erkennt für die häufigen Erdstösse in der Schweiz keine andere Ursache an, als das Nachgeben unterirdischer Gewölbe in Folge von Auslaugungen der Gyps- und Steinsalzlager u. s. w., und in dieser seiner Einseitigkeit liegt seine Schwäche. Man hat sich neuerlich vielleicht etwas gar zu skeptisch und ablehnend gegen die Einsturzhypothese verhalten, die auf verkarstete und höhlenreiche Gegenden — wie nach Fraas auf die Länder am Jordan [227] — und auch auf das Walliser Rhonethal vielleicht doch ganz wohl anwendbar sein dürfte; Palmieri dachte auch bei Casamicciola mehr an eine Bodensenkung, als an ein eigentliches Erdbeben. Es ist übrigens noch zu bemerken, dass der Unterschied zwischen dieser Theorie und der heutzutage den Vorrang behauptenden geotektonischen Erklärungsweise kein so sehr beträchtlicher ist, indem man mit Reyer [228] eben in der Bildung der nachher wieder vernichteten Hohlräume vielfach eine Wirkung der Rindenschrumpfung anzuerkennen hat.

§. 8. **Die Perrey-Falb'sche Hypothese.** In Kant's physischer Geographie lesen wir [229]: „Herr Bouguer, ein berühmter französischer Akademiker, erzählt, dass bei seinem Aufenthalt in Peru ein Gelehrter, welcher Professor der Mathematik auf der Universität zu Lima werden wollte, ein Buch unter dem Titel einer astronomischen Uhr der Erdbeben geschrieben habe, darinnen er sich unternimmt, diese aus dem Laufe des Mondes vorher zu verkündigen.“ Ganz die gleichen Zwecke, wie jener Kreole, verfolgte lange Jahre hindurch mit rühmlichem, wennschon einer besseren Sache würdigem Eifer der Franzose Perrey, von dessen zahlreichen Arbeiten hier nur sein Hauptwerk [230] erwähnt sein möge. Perrey glaubte, dass im Magma unter dem attraktiven Einflusse des Mondes — und der Sonne — ganz ebenso eine Fluthwelle in 24 Stunden umlaufen müsse, wie im Weltmeere. Wäre die gemeinsame Grenzfläche von Erdrinde und Magma eine glatte Kugelfläche, so würden diese Gezeiten des Pyriphlegethon's keine anderen als Druckwirkungen zur Folge haben, da aber die Innenseite der Kruste mit Unebenheiten versehen ist, so staut sich an diesen die seismische Welle, und die darüber liegenden Theile des festen Kugelringes können, woferne sie nur einigermassen lose verbunden sind, aus ihrem Zusammenhange gebracht werden — es entsteht ein Erdstoss [231]. Ohne zunächst von Perrey etwas zu wissen, hat Falb in drei grösseren selbstständigen Schriften [232] und in einer Reihe von Abhandlungen für eine im Wesentlichen ähnliche, wennschon in den Einzelheiten verbesserte Ebbe- und Fluththeorie des feurig-flüssigen Erdinneren Propaganda zu machen gesucht; er nahm im Gegensatze zu seinem Vorgänger an, dass die glühende Materie durch den Gravitationszug der Gestirne in die Kanäle und Spalten der Erdkruste hineingepresst wird, dort erkaltet und während des Erkaltungsprocesses Explosionen hervorruft. Man mag über Falb's Theorie denken, wie man will, jedenfalls ist das Bestreben dieses Forschers, exakt zu schliessen, voll anzuerkennen. Günstig für ihn gestimmt sind manche Geologen von Ruf, wie v. Lasaulx [233], Pilar [234], der den Gezeiten allerdings eine sekundäre, aber doch eben eine Rolle bei'm Zustandekommen der Erdstösse zuweist, und J. Schmidt, der in den

Ausbrüchen von Santorin eine unmittelbare Korrespondenz mit der Stellung von Sonne und Mond bemerkt haben will [235]. Auch Peschel glaubte, dass, wenn im Inneren der Erdrinde, wodurch immer veranlasst, ein akuter Spannungszustand eingetreten sei, die seismische Woge das latente Erdbeben sozusagen auszulösen vermögend sei [236]; ausserdem ist auch eine Abhandlung von Weitzel [237] beizuziehen. Die grosse Mehrzahl der Fachmänner steht zu Falb's Aufstellungen gegnerisch, und in der That kann man sich der Ansicht, dass im feindlichen Heerlager die besseren Gründe zu finden sind, nicht leicht verschliessen, sobald man die polemischen Erörterungen von K. Fuchs [238] und Hörnes [239] aufmerksam prüft. Namentlich Hörnes' Abhandlung verdient an diesem Orte eine sorgfältige Analyse.

Es wird hier zuerst daran erinnert [240], dass Falb die einzelnen astronomischen Faktoren nicht immer korrekt kombinire, sondern eine unterstützende Wirkung einzelner derselben auch dann noch erwarte, wenn sich dieselben thatsächlich in ihren Aktionen hemmen. Nach Falb müsste in der zeitlichen Vertheilung der Erdbeben eine zwiefache Periodicität vorhanden sein, und er glaube dieselbe auch aus Mallet's Katalog (s. o. §. 1) herausgelesen zu haben [241], allein weder die österreichischen, noch die italienischen Beben entsprechen dieser Annahme [242]. Gegen die Zusammenwerfung von vulkanischen und seismischen Erscheinungen spricht zumal der ruhige und obstruktionslose Verlauf der Lavaergüsse auf den Sandwichinseln [243]. Weitere schwere Bedenken ergeben sich, wenn man die geringe Tiefe des Erschütterungsheerdes, den Gegensatz dieser oft minimalen Centraltiefe zu dem weiten Verbreitungsbezirke, die Art der Fortpflanzung und das Fortschreiten der Stosspunkte in Betracht zieht [244]. Falb will den Radius des Schütterkreises der Centraltiefe annähernd proportional setzen [245]; diese Meinung ward vollständig durch das Erdbeben von Ischia widerlegt, wo nur die nähere Umgebung Casamicciola's hart betroffen wurde. Das letzte steyrische Erdbeben werde Falb nicht anders zu erklären vermögen, als dass er je eine besondere Vulkanspalte unter die Orte Leoben, Bruck, Kapfenberg, Kindberg, Kriegberg, Sömmering, Schottwien und Gloggnitz verlege. Und Fuchs erhebt den vielleicht zu scharfen, aber doch nicht ganz unberechtigten Vorwurf (a. a. O.), dass zu eilfertig, und ohne hinlänglich scharfe Kritik, jeder an irgend einem Punkte der Erdoberfläche konstatirte Stoss zu Gunsten des Systemes verwerthet zu werden pflege. Die gefährlichste Kritik übt man an einer Theorie stets dann, wenn man ihr eine andere und Besseres leistende gegenüberstellt; diess thut Hörnes in der Schlussabtheilung seines Werkchens [246], und wir selbst hoffen durch Vorführung der modernen seismologischen Lehren im nächsten Paragraphen zu dem gleichen Ziele zu gelangen.

§. 9. **Grundsätzliche Unterscheidung vulkanischer und tektonischer Erdbeben.** Der philosophische Grundfehler von Falb's Doktrin liegt unseres Erachtens in dem für die Bestrebungen des Autors sonst sehr ehrenvollen Worte [247]: „Eine Theorie darf kein Flickwerk, sondern muss ein einheitliches Ganzes vorstellen." Wer dieses hodegetische Axiom zu scharf betont, läuft immer Gefahr, sich in starren Doktrinarismus zu verlieren und zu vergessen, dass zwar stets von gleichen

Ursachen auf gleiche Wirkungen, nicht aber umgekehrt von gleichen Wirkungen auf identische Ursachen geschlossen werden darf. Die Humboldt-Buch'sche Theorie litt an demselben Gebrechen, und auch Ch. Darwin irrte, indem er behauptete [248], dass bei Vulkanausbrüchen die magmatischen Fluthen einen offenen, bei Erdbeben dagegen einen verstopften Gang fänden. C. F. Naumann's Versuch, die vulkanischen Erdbeben principiell von jenen zu unterscheiden, bei deren Entstehung nicht an die Mitwirkung eines Feuerberges zu denken gestattet ist, und für welche zunächst der freilich nicht bezeichnende Ausdruck plutonische Erdbeben gewählt war, stiess auf A. v. Humboldt's Widerspruch [249]. Gegenwärtig ist die Trennung eine schärfere, indem den vulkanischen Erdbeben die tektonischen, d. h. die aus lokalen Verschiebungen im Schichtenbau der Erdrinde entspringenden Erdbeben gegenübergestellt werden. J. Roth [250] kennzeichnet diesen Gegensatz kurz und klar mit folgenden Worten: „Nach dem heutigen Stande der Untersuchungen, die nicht als abgeschlossen anzusehen sind, bezieht man das Eintreten der Erdbeben auf zwei Ursachen: ein Theil steht im Verbande mit thätigen Vulkanen*), ein Theil wird zurückgeführt auf Ausgleichung der Spannungen, welche durch die fortdauernde Raumverminderung der festen Erdkruste, besonders ihrer tieferen Regionen, bedingt sind."

Die Aufgabe des Erdbebenforschers spitzt sich unter diesen Verhältnissen mehr und mehr dahin zu, für ein bestimmtes Land die habituellen Stosslinien aufzusuchen. In gewissem Sinne ist diess allerdings ein geometrisches Problem, nur darf man bei der Lösung desselben nicht in's Schablonenhafte verfallen, wie diess Élie de Beaumont sammt seinem getreuen Anhänger Chancourtois that, als er die Erdoberfläche in ein Netz regelmässiger Fünfecke eintheilte und den im Inneren der Erde wirksamen Kräften vorschrieb, sich nur längs einer dieser Begrenzungslinien bethätigen zu können [253]. Eine Musterarbeit ist die in §. 1 citirte von Höfer über die Schütterlinien von Kärnthen. Es sind diess Bruchränder, welche vom oberen Laufe der Mur bis hinab zum Triglav reichen, eine west-östliche Streichungsrichtung erkennen lassen und gut zu den durch Thaldepressionen bezeichneten Längsbrüchen der Gebirge stimmen. Natürlich kann eine

*) Man ist vielleicht, nachdem man sich einmal aus den Banden der exklusiv-vulkanistischen Anschauungen losgerungen hatte, etwas allzu geneigt gewesen, den Wirkungskreis der vulkanischen Beben zu beschränken. Wichtig genug bleiben dieselben auch dann, wenn man sich völlig auf den Boden der neueren Seismologie stellt. So hängen nach Ratzel [251] im nordamerikanischen Westen die Erschütterungen auf's Engste mit dem Spiele der dort thätigen oder auch vielfach nur schlummernden vulkanischen Kräfte zusammen, wie denn das grosse Erdbeben vom 26. März 1872 gerade in die Vulkanreihe am Ostfusse der Sierra Nevada hineinfiel. Gerade auch Suess, der Bannerträger der tektonischen Lehre, aber zugleich ein eminent kritischer Naturforscher, beansprucht unter den italienischen Erdstössen den Löwenantheil für die vulkanischen. Für Sizilien und Kalabrien müsse man drei Kategorieen von Erschütterungen aufstellen [252] solche, die ihr Centrum in einem Feuerberge haben und sich in undulirenden Bewegungen über eine grössere Fläche ausbreiten (Eruptivstösse), solche, die ebenfalls von einem Vulkane aus, nach bestimmten Richtungen ausstrahlen (Radialstösse), und endlich solche, die zunächst gar keinen vulkanischen Charakter an sich zu tragen schienen, die man aber darum doch nicht ohne weiteres als ausser jeder Wechselwirkung zu Vulkanen stehend zu betrachten ein Recht habe.

Vernarbung der Bruchränder eintreten, dann erlischt in jener Gegend die seismische Kraft vorübergehend und wohl auch dauernd. Um über die inneren Dislokationsvorgänge möglichst Klarheit zu erhalten, empfiehlt sich besonders genaue Verfolgung der Ortsveränderungen, welchen die Punkte grösster Stossintensität unterworfen sind; diesem Wandern der Stosspunkte haben Heim [254] und Hörnes ihre Aufmerksamkeit geschenkt, welch' letzterer in einer an Beobachtungsresultaten reichen Abhandlung [255] u. a. auch das Fortschreiten der Stosspunkte an der Innenseite von Kettengebirgen studirt und geodynamisch im Sinne von Kap. II, §. 6 — erklärt. Er stellt die eigentlichen Schütterzonen, welche auf das Absitzen innerer Zonen auf wahren Verwerfungsspalten hinweisen, den mit Querbrüchen zusammenfallenden Radiallinien entgegen. Spezialisirt werden in neuester Zeit manche tektonische Erderschütterungen als Stauungserdbeben, und dürfte nach Hörnes und Prudnik (s. o. §. 1) vor Allem der Agramer Katastrophe dieser Charakter beizulegen sein. Höfer (a. a. O.) folgert aus seinen eigenen alpinen Untersuchungen in Verbindung mit älteren Ergebnissen Merian's und Jourdy's vom Jura, dass die Staukraft im Alpengebiet, von der venetianischen bis zur bayrischen Ebene, eine meridionale Richtung einhält. — Auf dem gleichen physikalischen Boden scheint nach den vorliegenden, nicht aus erster Quelle stammenden Berichten, welche wir Jakob [256] verdanken, die Gewölbeschubtheorie des Jesuitenpaters Kolberg zu beruhen.

Während aber diese nur mit dem Lateraldruck in einer kontinuirlich schrumpfenden und sich faltenden Kruste operirende Lehrmeinung eine strenge intrakrustale genannt zu werden verdient, fehlt es auch nicht an einer Hypothese, welche die tektonischen Beben zwar als solche anerkannt wissen, dieselben aber auf ryakokrustale Ursachen zurückgeführt sehen möchte. Viele Mühe um Ausbildung dieser letzteren hat sich Pilar [257] gegeben. Man erinnert sich noch seiner im zweiten Kapitel geschilderten Darstellung der Lageveränderungen von Hub- und Senkschollen, welche in das feurigflüssige Magma eintauchen und dadurch zu mancherlei Verwerfungen Anlass geben, die selbst dann wieder die Ursache von Erdbeben werden können. Letztere werden also nach Pilar dadurch verursacht, dass sich Spalten bilden, dass zweitens eine alternirende Bewegung der Keilschollen eintritt, dass durch diese und die aus ihr folgende Verkeilung rasches Oeffnen und Wiederschliessen der Ritzen bedingt ist, und dass endlich das Magma selbst eine Eigenbewegung zeigt (s. §. 8). Die Erdbebenbrücken glaubt Pilar mit Interferenzerscheinungen in Verbindung bringen zu sollen [258]; dass in der That Neutralisirung seismischer Wirkungen durch Interferenz zweier Erdbebenwellen gerade keine Seltenheit ist, lehren evident Heim's Erfahrungen in den Stossgebieten der Schweiz.

[1] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 1. Band, Zürich 1858. S. 189. — [2] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1880. S. 151 ff. — [3] Wynne, Notes on the earth-quake in the Punjab of March 2 d, 1878. Journal of the asiatic society of Bengal, Vol. XLVII, b. S. 131 ff. — [4] Knipping, Verzeichniss von Erdbeben, wahrgenommen in Tokio, Japan, vom September 1872 bis November 1877, Mittheil. d. Ges. f. Natur- u. Völkerkunde Ostasiens,

1877, 14. Heft. S. 117 ff. — [5] E. Naumann, Ueber Erdbeben und Vulkanausbrüche, ibid. 15. Heft. S. 163 ff. — [6] R. Mallet, The great Neapolitan earthquake of 1857. London 1862. — [7] Grimaldi, Descrizione de' tremuoti accaduti nelle Calabrie nel 1783, Napoli 1784. — [8] Bittner, Beitrag zur Kenntniss des Erdbebens von Belluno vom 29. Juni 1873, Wien 1874. — [9] Falb, Gedanken und Studien über den Vulkanismus, Graz 1876, S. 25 ff. — [10] Suess, Die Erdbeben des südlichen Italien, Denkschr. d. k. k. Akad. d. Wissensch., 34. Band, Math.-phys. Kl. S. 1 ff. — [11] Ratzel. Das Erdbeben auf Ischia am 28. Juli, Ausland, 1883. S. 661 ff. S. 735 ff. S. 893 ff. — [12] v. Lasaulx. Das Erdbeben von Casamicciola auf Ischia, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 1 ff. — [13] Hantken v. Prudnik, Das Erdbeben von Agram im Jahre 1880, Budapest 1882. — [14] Pilar, Grundzuge etc. S. 156 ff. — [15] Jeitteles, Bericht über das Erdbeben vom 15. Januar 1858 in den Karpathen und Sudeten, Wien 1858. — [16] Suess, Die Erdbeben Niederösterreichs, Denkschr. d. k. k. Akad. d. Wissensch., 33. Band. Math.-phys Kl. S. 1 ff. — [17] Hofer, Die Erdbeben Kärnthen's und deren Stosslinien, Wien 1880. — [18] v. Seebach. Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872; ein Beitrag zur Lehre vom Erdinneren, Leipzig 1873. — [19] v. Lasaulx, Das Erdbeben von Herzogenrath am 12. Oktober 1873; ein Beitrag zur exakten Geologie, Bonn 1874. Das Erdbeben von Herzogenrath im December 1881. ibid. 1878. — [20] A. Forster. Uebersicht der schweizerischen Erdbeben im November 1881, Gaea, 18. Jahrgang. S. 82 ff.; Uebersicht der schweizerischen Erdbeben im December 1881, ibid. S. 142 ff. — [21] Heim, Erdbebenbeobachtungen in der Schweiz 1880—81. Gaea. 19. Jahrgang. S. 248 ff. — [22] De Rossi. Meteorologia endogena. vol. I. Milano 1879, vol. II, ibid. 1882. — [23] Neumayer, Bericht über die Verhandlungen des zweiten internationalen Meteorologen-Kongresses in Rom vom 14. bis 22. April 1879, Hamburg 1880. S. 11. — [24] Ibid. S. 88. — [25] Favaro. Intorno ai mezzi usati dagli antichi per attenuare le disastrose consequenze dei terremoti. Venezia 1874; Nuovi studi intorno ai mezzi usati dagli antichi per attenuare le disastrose consequenze dei terremoti, Venezia 1875. — [26] R. Mallet. The first principles of experimental seismology, London 1862. — [27] R. u. J. Mallet, The earthquake catalogue. Rep. of the british association for the advancement of science, 1858. — [28] Jul. Schmidt, Studien über Erdbeben, Leipzig 1875. — [29] v. Hoff-Berghaus, Chronik der Erdbeben und Vulkanausbrüche, Gotha 1840—41. — [30] Perrey, Propositions sur les tremblements de terre et les volcans, Paris 1858. — [31] J. Roth. Ueber Erdbeben. Berlin 1882. — [32] Toula, Ueber den gegenwärtigen Stand der Erdbebenfrage, Wien 1881. — [33] Roth, Ueber Erdbeben S. 5. — [34] A. v. Humboldt, Kosmos. 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845 S. 218. — [35] Roth, S. 7. — [36] C. Plinii Secundi historiae naturalis libri XXXI. lib. II. cap. 82. — [37] Nehring, Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca. 1. Theil, Wolfenbüttel 1873. S. 29. — [38] Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde, herausgeg. von Löwenberg. 2. Band, Leipzig 1878. S. 281 ff. — [39] Peschel-Leipoldt. Physische Erdkunde. 1. Band, Leipzig 1879. S. 261. — [40] Kant's Schriften zur physischen Geographie. herausgeg. von F. W. Schubert. Leipzig 1839. S. 253 ff. — [41] Ibid. S. 232. — [42] Suess, Das Antlitz der Erde 1. Abtheilung, Prag und Leipzig 1883. S. 103 ff. — [43] Roth. S. 8. — [44] Ibid. S. 9. — [45] J. Schmidt. Studien etc. S. 41 ff. S. 118 ff. — [46] Nehring. Die geol. Ansch. etc. 1. Theil. S. 25. — [47] Roth, S. 25. — [48] Hamilton. Account of the earthquakes. which happened in Italia from Februar to May 1783. Phil. Transact. Vol. LXXIII. S. 169 ff. S. 209 ff. — [49] Dolomieu, Sur le tremblement de terre de la Calabrie. Rome 1784. S. 50 ff. — [50] Roth. S. 26. — [51] Falb Gedanken etc. S. 280. — [52] Roth, S. 24. — [53] Sir Isaac Newton's mathematische Principien der Naturlehre. deutsch von Wolfers. Berlin 1872. S. 353 ff. — [54] v. Seebach, Das mitteld. etc. S. 180. — [55] Ibid. S. 178. — [56] Roth. S. 21 — [57] Fr. Hoffmann, Geschichte der Geognosie und Schilderung der vulkanischen Erscheinungen. Berlin 1838. S. 342 ff. — [58] Ibid. S. 41. — [59] Nehring. 1. Theil. S. 20. — [60] Plinius. lib. II. cap. 89. — [61] Nehring. 1. Theil. S. 22. — [62] Roth, S. 14. — [63] Nehring, 1. Theil. S. 23 ff. — [64] Roth, S. 17. — [65] Ibid. S. 15. — [66] Ch. Darwin, Geological observations on the volcanic islands. 2. ed., London 1876. S. 237. — [67] Suess, Das Antlitz etc. S. 124 ff. — [68] Ibid. S. 137. — [69] Diamilla-Müller, Lettere scientifiche per il popolo italiano, Milano 1873. S. 440 ff. — [70] Roth, S. 13. — [71] v. Sonklar, Von den Ueberschwemmungen, Wien, Pest und Leipzig 1883. S. 5. — [72] Ibid. S. 8 — [73] H. Fischer, Ueber einige Gegenstande der physischen Geographie bei Strabo ein Beitrag zur Geschichte der alten Geographie, Wernigerode 1878. S. 7. —

[74] Thukydides, De bello Peloponnesiaco, lib. VII. cap. 89. — [75] v. Hoff-Berghaus, Chronik etc. S. 244. — [76] Griesbach, Die Erdbeben der Jahre 1867 und 1868, Mittheil. d. k. k. geogr. Ges. in Wien, 12. Band. S. 204 ff. — [77] Geinitz, Das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877, Petermann's geogr. Mittheil., 1878. S. 454 ff.; Nova Acta d. leop.-kar. Akad. der Naturforscher, 40. Band. S. 385 ff.; Gaea, 15. Jahrgang. S. 650 ff. — [78] Graf Berg, Die Fluthcrscheinungen des Meeres bei Erdbeben, Gaea, 17. Jahrgang. S. 9 ff. — [79] Ch. Darwin, Naturalist's voyage round the world, London 1841. S. 309. — [80] Geinitz, Die Fluthwellen bei Erdbeben, Gaea, 17. Jahrgang. S. 409 ff. — [81] Graf Berg, Die Flutherscheinungen bei Erdbeben. ibid. 18. Jahrgang. S. 260 ff. — [82] Rachel, Nochmals die Fluthwellen und das Zurückweichen des Meeres bei Erdbeben, ibid. 18. Jahrgang. S. 19 ff. — [83] Birgham. Die Erdbebenfluth im grossen Ocean, Globus, 1878. S. 216 ff. — [84] v. Hochstetter, Die Erdbebenfluth im pacifischen Ocean, Peterm. geogr. Mittheil., 1869. S. 222 ff. — [85] Suess, Das Antlitz etc. S. 25 ff. — [86] Ibid. S. 92. — [87] Ibid. S. 43. — [88] Ibid. S. 61. — [89] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 28. — [90] Francisci Petrarcae epistolae de rebus familiaribus. ed. Fracassetti, Vol. I, Florentiae 1859. Ep. V. — [91] Favaro. Intorno al probabile autore di una predizione di terremoto riferita da Petrarca, Venezia 1876. — [92] Teloni, Dei terremoti, loro cagioni, effetti e malori che producono e loro preservativa in generale, Viterbo 1703. — [93] Plinius, lib. II. cap. 81. — [94] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 37. — [95] Cardanus, De subtilitate libri XXI, Basileae 1553. S. 85. — [96] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 39 ff. — [97] Ibid. S. 42 ff. — [98] Kant, Schriften etc. S. 242 ff. — [99] Waltenberger, Das bayrische Hochland und Salzburg nebst den angrenzenden Gebieten von Tyrol, Augsburg 1880. S. 305. — [100] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 69. — [101] Quetelet. Météorologie de Belgique, comparée à celle du globe, Bruxelles et Paris 1867. S. 422. — [102] Serpieri, Il terremoto d'Italia del 12 marzo 1873 e leggi e fenomeni communi a molti terremoti, Pesaro 1874. — [103] Favaro, Nuovi studî etc. S. 133 ff. — [104] Kries, Von den Ursachen der Erdbeben, Utrecht 1820. — [105] Monte, Sperienze comparative sui sismometri, fatte nell' osservatorio di Livorno, Livorno 1873. — [106] Bertelli, Risposta ad alcune obiezioni del prof. Pietro Monte intorno ai moti microsismici. Bull. del Volcanismo Italiano, vol. I. S. 123 ff. — [107] Melzi, Sulla relazione dei moti tromometrici e la velocità del vento, Atti dell' accad. pont. dei lincei, 1875. S. 356 ff. — [108] Gemma Frisius, De naturae divinis characterismis libri II, Antverpiae 1565. I. S. 40 ff. — [109] Kant, Schriften etc. S. 234. — [110] Fron, Sur la prévision de certains tremblements de terre, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXIV. S. 331 ff. — [111] Poey, Rapport entre les taches solaires, les tremblements de terre aux Antilles et au Mexique et les éruptions volcaniques sur tout le globe, ibid. tome LXXVIII. S. 51. — [112] Kluge, Ueber Synchronismus und Antagonismus von vulkanischen Eruptionen und die Beziehungen derselben zu den Sonnenflecken und erdmagnetischen Variationen, Leipzig 1866. — [113] Fritz, Die Beziehungen der Sonnenflecken zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Haarlem 1878. S. 241. — [114] F. Knapp. Mittheilungen aus der cubanischen Thier- und Pflanzenwelt, Abhandl. d. naturf. Gesellsch. zu Nürnberg, 6. Band. S. 60. — [115] Mädler, Populäre Astronomie, 7. Aufl., bes. v. Klinkerfues, Strassburg 1882. S. 416. — [116] Die Prophezeiung des Herrn Delaunay über Erderschütterungen in den Jahren 1883 und 1886, Ausland, 1883. S. 917. — [117] Humboldt, Kosmos. 1. Band. S. 214 ff. — [118] v. Seebach, Das mitteld. etc. S. 110 ff. — [119] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 216. — [120] Vulkanstudien bei Santorin, Gaea. 18. Jahrgang. S. 645. — [121] Plinius. lib. II. cap. 82. — [122] Ibid. lib. XXXVI. cap. 21. — [123] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 95 ff. — [124] Favaro, Nuovi studî etc. S. 99 ff. — [125] Ibid. S. 103 ff. — [126] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 44. — [127] Ibid. S. 138. — [128] Sguario, Specimen physico-geometricum de terrae motibus ad architecturae utilitatem concinnatum, Venetiis 1756. S. 41. — [129] Favaro, Norme di costruzioni per aumentare la resistenza degli edifizi contro il terremoto, Venezia 1883. — [130] De Rossi, Met. end., tomo I. S. 200 ff. — [131] Favaro, Norme etc. S. 43. — [132] Ibid. S. 49 ff. — [133] Lescasse, Études sur les constructions Japonnaises et sur les constructions en général au point de vue des tremblements de terre, et description d'un système destiné à donner une grande sécurité aux constructions en maçonnerie, Paris 1877. — [134] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 129 ff. — [135] Bertholon de St. Lazare, De l'électricité des météores, tome I, Lyon 1787. S. 399 ff. — [136] Wiedeburg, Ueber die Erdbeben und die allgemeinen Nebel von 1783, Jena 1784. — [137] Kant, Schriften etc.

S. 279. — [138] Roth. S. 28. — [139] Zöllner. Ueber eine neue Methode zur Messung anziehender und abstossender Kräfte. Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 133. — [140] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2 Aufl., 3. Band, Leipzig 1827. S. 824 ff. — [141] Jakob, Unsere Erde; astronomische und physische Geographie. Freiburg i. B. 1883. S. 329. — [142] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 211. — [143] R. Mallet, The earthquake catalogue. S. 98 ff. — [144] Palmieri, Il sismografo dell' osservatorio Vesuviano e quello della specola universitaria, Napoli 1874. — [145] Peschel, Abhandl. etc., 2. Band, Leipzig 1878. S. 521 ff. — [146] v. Seebach, Das mitteld. etc. S. 187. — [147] Kreil, Ueber einen neuen Erdbebenmesser. Wien 1856. — [148] v. Lasaulx, Das Erdbeben von Herzogenrath etc. S. 148 ff. — [149] Bertelli, Tromosismometro, Roma 1874. S. 3. — [150] Favaro, Nuovi studî etc. S. 83 ff. — [151] Ibid. S. 117 ff. — [152] Knipping, Verzeichniss von Erdbeben, wahrgenommen in Tokio, Japan, etc. S. 117. — [153] G. Wagner, Bemerkungen über Erdbebenmesser und Vorschläge zu einem neuen Instrumente dieser Art, ibid. 15. Heft. S. 216 ff. — [154] Ibid. S. 222. — [155] Euler, Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes. Lausannae et Genevae 1744. S. 51 ff. — [156] Grunert, Der Rotationskörper des kleinsten Widerstandes, Archiv der Mathematik und Physik. 45. Theil. S. 237 ff. — [157] Physical notes, Nature, Vol. XXIV. S. 113. — [158] Peal, A new sismometer, ibid. S. 461. — [159] Zoppritz, Die Fortschritte der Geophysik. Wagner's geogr. Jahrbuch, 9. Band. S. 14. — [160] Merian, Ueber die in Basel wahrgenommenen Erdbeben nebst einigen Untersuchungen über Erdbeben im Allgemeinen, Basel 1834. — [161] Egen, Ueber das Erdbeben am Rhein im Jahre 1828. Ann. d. Phys. u. Chem., 13. Band. S. 153 ff. — [162] Gehler, Phys. Wörterb. 2. Aufl., 9. Band, 3. Abth., Leipzig 1840. S. 2304. — [163] v. Seebach, Das mitteld. etc. S. 143. — [164] Ibid. S. 129. — [165] Falb, Gedanken etc. S. 197. — [166] Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen. Berlin 1875. S. 317 ff. — [167] Falb, Gedanken etc. S. 211. — [168] Ibid. S. 213 ff. — [169] v. Seebach. Das mitteld. etc. S. 161. — [170] Falb, Gedanken etc. S. 2[illegible]. — [171] Falb. Ueber die Erdbeben und ihren Zusammenhang mit dem Stande der Sonne, Sirius (2) 4. Band. S. 17. — [172] v. Lasaulx, Das Erdbeben von Herzogenrath etc. S. 116 ff. — [173] Heim, Erdbebenbeob. etc. S. 250. — [174] Lersch. Ueber die Ursachen der Erdbeben; ein historischer Rückblick. Gaea, 15. Jahrgang S. 213 ff. S. 296 ff. S. 356 ff. S. 423 ff. — [175] Rahmer, Die biblische Erdbebentheorie; eine exegetische Studie, Leipzig 1881. — [176] Aristoteles, Meteorol. lib. II. cap. 7. — [177] Ammianus Marcellinus, Rerum gestarum lib. XVII. cap. 7. — [178] Nehring. Die geol. Ansch. etc., S. 36. — [179] Die Wetterlöcher in den Alpen, Ausland, 1872. S. 599. — [180] Krejčí, Ueber Exhalationen warmer Luft am Gipfel des Kahlenberges bei Lobositz, Sitzungsber. d. k. böhm. Ges. d. Wissensch. 1881. S. 59 ff. — [181] Altmann, Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der helvetischen Eisberge, Zürich 1751. S. 128 ff. — [182] Lucretius. De rerum natura, lib. VI. v. 534 ff. — [183] Lersch, Ueber die Urs. etc. S. 21[illegible] — [184] Ibid. S. 220. — [185] Ibid. S. 296 ff. — [186] Lucretius, lib. VI. v. 534 ff. v. 639 ff.; v. 703 ff. — [187] Nehring, Die geol. Ansch. etc. S. 38. — [188] Seneca, Naturales Quaestiones, lib. VI. cap. 21. — [189] Sprenger, As-Soyuti's work on earthquakes, Journal of the as. soc. of Bengal, Vol. XII, b. S. 746 ff. — [190] Zakarija Ben Muhammed Ben Mahmûd El-Kazwini's Kosmographie, 1. Halbband, deutsch von Ethé. Leipzig 1868. S. 303 ff. — [191] Lersch, Ueber die Urs. etc. S. 297. — [192) Der Ursprung des Nils; nach Erasmus Franciscus „Neu polirter Geschicht-, Kunst- und Sitten-Spiegel ausländischer Völker," Deutsche Rundschau f. Geogr. und Stat., 6. Jahrgang. S. 123 ff. — [193] Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Stuttgart 1882. S. 177. — [194] Favaro, Nuovi studi etc. S. 19. — [195] Froidmont, Meteorologicorum libri VI. Lovanii 1646. S. 283. — [196] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo ed. Narducci, Roma 1859. S. 21 ff. — [197] Favaro, Nuovi studi etc. S. 22 ff. — [198] Rixner und Siber, Leben und Lehrmeinungen berühmter Physiker am Ende des XVI. und am Anfang des XVII. Jahrhunderts, 2. Heft, Sulzbach 1820. S. [illegible] — [199] Favaro, Nuovi studi etc. S. 13. — [200] Nehring, Die geol. Ansch. etc. S. 36. — [201] Lersch. Ueber die Urs. etc. S. 298 ff. — [202] Kant, Schriften etc. S. 265. — [203] Corn. Taciti ab excessu divi Augusti Annal. lib. II. cap. 27. — [204] Priestley, Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität, nebst eigenthümlichen Versuchen, deutsch von Krünitz, Berlin und Stralsund 1771. — [205] Sarti, Saggio di congetturi sui terremoti, Lucca 1783. — [206] Vassalli-Eandi, Rapport sur le tremblement de terre qui a commencé le 2 avril 1808, Turin 18[illegible].

— [207] Stuckely, The philosophy of earthquake natural and religious, London 1750. — [208] Bina, Ragionamento sopra la cagione de terremuoti, Perugia 1751. — [209] Cavallo, Vollständige Abhandlung der Lehre von der Elektricität, aus dem Englischen, Leipzig 1785. S. 184 ff. — [210] Gehler's phys. Wörterb., II. Aufl., 9. Band, 3. Abtheil. S. 2318 ff. — 211] Matteucci, Influenza dell' elettricità terrestre sui temporali, Bologna 1829. — [212] Favaro, Intorno ai mezzi etc. S. 80. — [213] Pilar, Grundzüge etc. S. 114 ff. — [214] Gehler, II. Aufl., 9. Band, 3. Abtheil. S. 2320. — [215] A. Boué, Parallèle des tremblements de terre, des aurores boréales et du magnétisme terrestre, Bull. de la soc. géol., (2) Vol. XVIII. S. 466 ff. — [216] Janeček, Rada jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Agram 1881. S. 202 ff. — [217] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 222. — [218] Mohl, Erdbeben und Vulkane, Berlin 1878. — [219] Boutigny, Studien über die Körper im sphäroidalen Zustand; neuer Zweig der Physik, deutsch von Arendt, Leipzig 1868. S. 49. — [220] Leidenfrost, De aquae communis nonnullis qualitatibus tractatus, Duisburgi 1756. — [221] Carl, Der Leidenfrost'sche Versuch im Erdinneren als Erklärung der Ursache der Erdbeben und der vulkanischen Eruptionen, Repert. f. Experimentalphysik, 1. Band S. 264 ff. — [222] Thomassen, Die Katastrophe von Ischia, Gaea, 19. Jahrgang. S. 577 ff. — [223] Necker, On a probable cause of certain earthquakes, Phil. Mag., (3) Vol. XIV. S. 111. — [224] Lersch, Ueber die Urs. etc. S. 358. — [225] Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, 3. Band, Bonn 1866. S. 472 ff. — [226] Volger, Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, Gotha 1857—58. — [227] Fraas, Aus dem Orient, Stuttgart 1867. S. 78. — [228] Reyer, Höhlen und Einstürze, Gaea, 18. Jahrgang. S. 628 ff. — [229] Kant, Schriften etc. S. 273 ff. — [230] S. o. [30]. — [231] Ibid. S. 7. — [232] Falb, Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche, Graz 1869; Gedanken und Studien über den Vulkanismus, Graz 1876: Von den Umwälzungen im Weltall, Wien 1881. — [233] v. Lasaulx, Das Erdbeben von Herzogenrath etc. S. 146. — [234] Pilar, Grundzüge etc. S. 148 ff. — [235] J. Schmidt, Studien etc. S. 179. — [236] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, Leipzig 1879. S. 267 ff. — [237] Weitzel, Einiges zu Falb's Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche, Mittheil. d. naturw. Vereins für Rügen und Vorpommern, 13. Band. — [238] K. Fuchs, Bericht über die vulkanischen Ereignisse des Jahres 1871, Neues Jahrb. f. Miner. u. Geol., 1872. S. 718 ff. — [239] Hörnes, Die Erdbebentheorie Rudolf Falb's und ihre wissenschaftliche Grundlage kritisch erörtert, Wien 1881. — [240] Ibid. S. 42 ff. — [241] Falb, Von den Umw. etc. S. 161. — [242] Hörnes, Die Erdbebentheorie etc. S. 55 ff. — [243] Ibid. S. 90 ff. — [244] Ibid. S. 110 ff. — [245] Falb, Von den Umw. etc. S. 252 ff. — [246] Hörnes, Die Erdbebentheorie etc. S. 118 ff. — [247] Falb, Gedanken etc. S. 15. — [248] Ch. Darwin, Kleinere geologische Abhandlungen, deutsch von Carus, Stuttgart 1878. S. 35. — [249] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 1. Band. S. 260. — [250] Roth, S. 30. — [251] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 145 ff. — [252] Suess, Die Erdb. d. südl. Italien, S. 23 ff. — [253] E. de Beaumont, Sur la corrélation des directions des différents systèmes de montagnes, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XXXI. — [254] Vgl. [21]. — [255] Hörnes, Erdbebenstudien, Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 28. Band. — [256] Jakob, Unsere Erde. S. 343 ff. — [257] Pilar, Grundzüge etc. S. 127 ff. — [258] Ibid. S. 137.

Namen-Index.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I. J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

X.

Y.

Z.

Verbesserungen und Zusätze.

S. 22, Z. 25 v. u. und S. 33, Z. 7 v. o. l. Nordenskiöld.
S. 26, Z. 5 v. o. ergänze vor und: Guyot, Physical geography, London 1873.
S. 33, Z. 21 v. u. l. lanarischen Inseln.
S. 67, Z. 10 v. o. ergänze nach Goldschmidt: Watson.
S. 80, Z. 8 v. o. l. Brezina.
S. 84, Z. 6 v. u. und S. 88, Z. 22 v. u. l. Piazzi Smyth.
S. 90, Z. 15 v. u. l. Nebelspektrums.
S. 105, Z. 26 v. o. l. Thyle.
S. 116, Z. 4 v. u. l. Abtheil. II.
S. 131, Fig. 9 l. Ἥλιος ἀνατέλλων.
S. 138, Z. 15 v. u. l. $\zeta_1 = 180^\circ - 89^\circ\, 48'$, $\zeta_2 = 180^\circ - 89^\circ\, 35'$.
S. 140, Z. 17 v. u. und S. 141, Z. 17 v. o. l. Γ statt γ.
S. 157, Z. 21 v. o. ergänze nach Kapitel: der dritten Abtheilung.
S. 190, Z. 28 v. o. l. 125 statt 88.
S. 192, Z. 20 v. o. l. $f(x, y, z, a_1, a_2 \ldots a_n) = 0$.
S. 201, Z. 26 v. o. l. mechanischen Arbeit.
S. 220, Z. 22 v. u. l. Ostwestrichtung statt Mittagslinie.
S. 242, Fig. 42 l. durchweg e statt l.
S. 249, Z. 4 v. u. l. Erdkunde statt Erde.
S. 276, Z. 8 v. u. lies: Völlig unerreichbar ist nur der eigene Standpunkt des Zeichners.
S. 324, Fig. 62 l. $a \left\{ x \right.$ statt $A \left\{ x \right.$.
S. 346, Z. 10 v. o. l. Nord-, Central- und Südamerika.
S. 356, Z. 9 v. u. l. Entdeckungsreisen.
S. 391, Z. 17 v. o. l. α_2 und β_2 statt α und β.
S. 392, Z. 5 v. u. l. Hyperbel.
S. 407, Z. 16 v. o. l. 9. Band, S. 264 ff.

LEHRBUCH

DER

GEOPHYSIK

UND

PHYSIKALISCHEN GEOGRAPHIE.

VON

DR. SIEGMUND GÜNTHER,
PROFESSOR AM GYMNASIUM ZU ANSBACH.

ZWEI BÄNDE.

II. BAND.

MIT 118 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1885.

Druck von Gebrüder Kröner in Stuttgart.

SEINEN GEEHRTEN FREUNDEN

ANTONIO FAVARO

UND

GIOVANNI MARINELLI,

PROFESSOREN AN DER UNIVERSITÄT PADUA,

VEREHRUNGSVOLL GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Vorwort.

Die Grundsätze, nach welchen dieser zweite Band der Geophysik gearbeitet ist, sind in allen wesentlichen Punkten die gleichen, welche bereits für den ersten Band maassgebend waren. Angesichts der überaus freundlichen Aufnahme, deren sich der erstere zu erfreuen gehabt hatte, durfte der Plan der Darstellung als ein richtiger angesehen werden. Indem der Verfasser allen Beurtheilern des Buches für das demselben bewiesene Wohlwollen herzlich dankt, kann er zugleich nicht umhin, noch besonders jenen Männern seinen Dank auszusprechen, welche ihn durch einzelne Winke oder auch durch Mittheilung literarischen Materiales bei seinem Werke gefördert haben, so namentlich Herrn Admiralitätsrath Neumayer in Hamburg, den Herren Professoren Karsten und Krümmel in Kiel, Kirchhoff in Halle, v. Bezold in München, Wibel in Hamburg, Bauschinger in München, Forel in Morges, Heim in Zürich, Herrn Dr. Penck in München, Herrn Kapitän Schück in Hamburg und Herrn Ingenieurhauptmann Brocard in Montpellier. Endlich hält er es auch für seine Pflicht, hier öffentlich des Dienstes zu gedenken, welcher ihm durch einen freundlichen Kollegen, Herrn Gymnasialassistenten Künssberg in Schweinfurt, bei der Revision der Druckbogen erwiesen wurde.

Der Versuchung, neue Wortbildungen zu schaffen, suchte der Verfasser standhaft auszuweichen. Höchstens die Bezeichnung Ureis möchte er den „paleocrystic floes“ der Engländer (S. 436) substituirt wissen. — Eine etwas eigenmächtige Veränderung ist ferner an der von E. Suess eingeführten Terminologie für die Uferverschiebungen vorgenommen worden. Sachlich völlig zutreffend nennt Suess eine Verschiebung der Uferlinie positiv oder negativ, je nachdem das Meer

vorzudringen oder sich zurückzuziehen scheint. Lediglich, um dem Vorstellungskreise des Festlandsbewohners verständlicher zu sein, wurden von uns (S. 442 ff.) Hebungen als positive, Senkungen als negative Oscillationen aufgefasst.

So möge denn das fertige Werk den Studirenden der Erdkunde und der mathematischen Disciplinen sich nützlich erweisen! Des Verfassers höchster Wunsch ist der, dass durch dasselbe, soweit es natürlich die bescheidenen Mittel eines Lehrbuches gestatten, der Leser in den Stand gesetzt werde, einen klaren Begriff mit jener ewig denkwürdigen Stelle des von Humboldt unter'm 24. Januar 1796 an Pictet gerichteten Briefes zu verbinden, in welcher es heisst: „Je conçus l'idée d'une physique du monde . . .“

Ansbach, im März 1885.

S. Günther.

Inhalts-Uebersicht.

Vierte Abtheilung.

Magnetische und elektrische Erdkräfte.

Kapitel I. Magnetismus und Elektricität in den oberflächlichen Erdschichten.

Kapitel II. Der Erdmagnetismus und die drei ihn bestimmenden Elemente.

Kapitel III. Theorie des Erdmagnetismus.

Kapitel IV. Polarlichter.

Fünfte Abtheilung.

Atmosphärologie.

Kapitel I. Die allgemeinen Eigenschaften der Atmosphäre; ihre Gestalt und ihre Ausdehnung.

Siebente Abtheilung.

Dynamische Wechselbeziehungen zwischen Meer und Land.

Achte Abtheilung.

Das Festland mit seiner Süsswasserbedeckung.

Anhang (Neunte Abtheilung).

Biologie und physische Erdkunde in Wechselwirkung.

Vierte Abtheilung.

Magnetische und elektrische Erdkräfte.

Kapitel I.

Magnetismus und Elektricität in den oberflächlichen Erdschichten.

§. 1. **Attraktive Wirkungen von Gesteinsmassen.** Wenn wir im weiteren Verlaufe dieser Abtheilung an die Schilderung der Erde als eines magnetischen Körpers heranzutreten gedenken, so haben wir strenge darauf zu achten, dass nicht das magnetische Verhalten der Erdkugel mit demjenigen verwechselt werde, welches sich auch an gewissen Bestandtheilen der Erdoberfläche und der Erdkruste konstatiren lässt. Diese bisher vielleicht zu wenig beachteten Erscheinungen des Gesteinsmagnetismus bedürfen somit einer vorläufigen Untersuchung, welche ihnen in Kürze zu Theil werden soll.

Die Fabel, dass es irgendwo auf der Erde Magnetfelsen von ungeheuerlicher Kraft gäbe, welche alle in ihren Bereich gelangenden Fahrzeuge unwiderstehlich an sich rissen, reicht nach den von H. Martin hierüber angestellten Untersuchungen bis in ein hohes Alterthum hinauf, wie denn selbst der vorsichtige Ptolemäus sich nicht enthalten konnte, den Ort dieser Felsen, genau nach Länge und Breite fixirt, in die Nähe der Insel Taprobane (Ceylon) zu verlegen [1]. Dass Araber und Talmudisten diesen, wie jeden anderen physikalischen Mythus sorgfältig pflegten, kann bei deren uns bereits bekannten Gepflogenheiten nicht Wunder nehmen, und auch im Abendlande gab es der Gläubigen genug. Nach Peschel hätte der sagenhafte Magnetberg eigentlich aus Diamant bestanden, dem ja Plinius dieselben Eigenschaften, wie dem Magneteisenstein, zuschrieb [2]; des Ferneren führt Peschel aus einer alten Chronik die Nachricht an [3], dass Herzog Ernst von Bayern bei einer Reise in's heilige Land auf einen unterseeischen Magnetberg aufgefahren und nur schwer wieder davon losgekommen sei. Auch die Chinesen wussten von einer solchen Gefahr für die Schifffahrt, die ihren Sitz an der Küste von Cochinchina habe. Allmählig bildete sich, nachdem Ruysch in der „Margarita

philosophica" mit gutem Beispiele vorangegangen war, aus solchen Wahnvorstellungen die richtigere Ansicht heraus, dass allerdings auf der Erde ausgezeichnete Punkte vorhanden seien, welche jedoch nicht sowohl attraktiv, als vielmehr direktiv auf gewisse Metalle wirkten. Poggendorff schildert diesen nicht unwichtigen Entwickelungsprocess, wie folgt [4]: „Im Allgemeinen glaubte man, es sei die Anziehung eines Punktes am Himmel, welche der Magnetnadel ihre Richtung gebe; das war u. a. die Ansicht des Columbus. Der berüchtigte Paracelsus verlegte diesen Punkt in das Sternbild des grossen Bären, dasselbe that Cardano, und Martin Cortez liess den Anziehungspunkt am Himmel sich bewegen. Norman hatte nun insoferne eine richtigere Anschauung, als er den anziehenden Punkt in die Erde verlegte, eine Ansicht, in der er einigermassen einen Vorgänger in dem berühmten Arzt und Mathematiker Fracastoro zu Verona hatte, indem derselbe in den nördlichen hyperboreischen Gegenden Gebirge mit gewaltigen Eisenmassen fingirte, welche auf die Kompassnadeln wirken sollten. Aehnliches sagte Olaus Magnus aus, ein Schwede, der von 1490 bis 1558 lebte und in Rom starb. Derselbe fabelte, es wären am Nordpol ganze Berge, die einen solchen Magnetismus äusserten, dass man daselbst nur Schiffe mit hölzernen Nägeln brauchen könne, indem eiserne Nägel aus den Schiffsplanken herausgezogen würden."

Späterhin überzeugte man sich, dass es an sehr vielen Orten der Erde Gestein gebe, welchem ein gewisses, meist jedoch nur geringes Maass von magnetischer Anziehungskraft zukommt. So hat Hibbert in seiner „History of the extinct volcanos of the basin of Neuwied" mehrfache hierher gehörige Beobachtungen verzeichnet. Man darf, wenn eine Felsmasse direkt anziehend auf Eisen wirkt, ohne doch zugleich die im nächsten Paragraphen zu schildernden Eigenschaften hervortreten zu lassen, fast stets annehmen, dass in der Nähe solides Magneteisenerz oder aber Magnetkies in grösserer Menge vorhanden ist. Das erstgenannte Mineral findet sich z. B. in Kleinasien unweit der Stadt Magnesia, und der Naturdichter Lucilius leitet von ihr den Namen des Erzes ab [5] („quem magneta vocant patrio de nomine Graii"); neuerdings hat man bei Luleå in Lappland einen wirklichen Magneteisenberg von wahrhaft riesenhaften Dimensionen aufgefunden [6]. Der Magnetkies (namentlich derjenige von Bodenmais im bayrischen Walde) bewährt sogar durch längere Zeit eine gewisse magnetische Koercitivkraft, wie Streng [7] nachwies. Aus einem im mittleren Böhmen sich vorfindenden Gemenge von Pyrit und Magnetkies vermochte Safránek [8] durch Vorhalten eines Magnetstabes Splitter herauszuziehen, welche sich nachher in Salzsäure auflösten.

Auch im Schneewasser-Rückstande kommen kleine Eisenkügelchen mit schwach magnetischen Eigenschaften vor. Einer Notiz von Flögel [9] entnehmen wir, dass bereits 1849 Ehrenberg auf dieselben aufmerksam wurde, und dass sodann Daubrée und Silvestri sich mit ihnen beschäftigten. Nordenskiöld ist (vgl. Band I, S. 90) der Ansicht, dass diese magnetischen Eisenpartikelchen nicht sowohl tellurischen, als vielmehr kosmischen Ursprunges seien [10], und Tissandier verstärkt die Hypothese, nach welcher man darin Fragmente von Meteorsteinen zu erblicken hätte, noch durch den Hinweis

darauf, dass Pulver aus irdischem Eisen, man möge es herstellen, wie man wolle, nicht jene eigenthümliche geometrische Regelmässigkeit der mikroskopischen Körner wahrnehmen lasse, wie sie sich hier offenbare [11]. Immerhin scheinen uns die von Flögel (a. a. O.) geäusserten Bedenken gegen diese Meinung und auch gegen Nordenskiöld's Untersuchungsmethode gewichtig genug, um dringend zu erneuter Prüfung aufzufordern.

§. 2. **Die polare Richtkraft der Gesteinsmassen.** Bisher war ausschliesslich von den manchen Gesteinsarten eigenthümlichen Anziehungskräften die Rede. Ungleich wichtiger ist jedoch natürlich die Polarität der Felsen, welche eine in ihre Nähe gebrachte Magnetnadel von der Nordrichtung ablenkt und auch praktisch für den mit der Boussole arbeitenden Geodäten von Bedeutung werden kann; den Mitgliedern der deutschen Polarstationen wurde deshalb die ausdrückliche Instruktion ertheilt [12], die Umgebungen ihrer Observatorien vor deren Erbauung sorgfältig auf einen etwaigen magnetischen Lokaleinfluss zu untersuchen. Nachfolgend stellen wir die bisherigen — leider fast durchweg nur aphoristischen und nicht unter einander verglichenen — Beobachtungen über die direktiven Wirkungen der Gesteine zusammen.

Nachdem schon mehrfach in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts — so von Bouguer, A. Werner, Charpentier, Hardt u. a. — gelegentlich einige Bemerkungen dieser Art veröffentlicht worden waren, nahm A. v. Humboldt zuerst am Serpentin des Heidberges im Fichtelgebirge gründliche Studien vor [13], deren Ergebniss er dahin fixirte, dass dieser Fels, wo er am Nordabhang des Berges auftrete, nur Südpole, am südlichen Abhang dagegen blos Nordpole zeige, und dass nicht nur eine einzige, sondern eine ganze Reihe magnetischer Axen existire, welch' letztere jedoch nicht sämmtlich in der nämlichen Ebene gelegen seien. Die Physiker und Montanisten nahmen die Wahrnehmung Humboldt's mit einem die Bedeutung derselben weit übersteigenden Interesse auf; Uebersetzungen seiner Note erschienen in Nicholson's Journal, in den „Ann. de chimie" und in dem „Journ. de phys.", und der 1. Band des „N. bergm. Journ." brachte sogar eine Sammlung darauf bezüglicher Aktenstücke von Humboldt, Charpentier und Freiesleben. Ersterer hatte also erreicht, was er eigener Aeusserung zufolge durch seine Veröffentlichung hatte erreichen wollen: „eine Bombe unter die Menschen zu werfen, die sie anreizt, zu arbeiten." Bischof, der auf seiner gemeinsam mit Goldfuss unternommenen Studienreise (vgl. Band I, S. 28) natürlich sein besonderes Augenmerk auf diese Verhältnisse richtete, fand im Allgemeinen Humboldt's Wahrnehmungen bestätigt, stellte aber fest, dass der ablenkende Einfluss des Gebirgsstockes nicht allein auf polaren Serpentin, sondern zugleich auf polaren Hornblendeschiefer zurückzuführen sei [14]. Im Jahre 1808 fand J. Zimmermann [15], dass der Frankensteiner Schlossberg bei Darmstadt, wesentlich aus grünem Serpentin bestehend, gleich stark attraktiv und direktiv auf den Magnet wirke, und dass selbst kleine Splitter des Steines sich polar bethätigten*). Reuss entdeckte polare Schichten bei Bilin im

*) Förstemann (s. u.) bestreitet allerdings die Richtigkeit von Zimmer-

böhmischen Mittelgebirge, Haug in Südfrankreich, Reich bei Freiberg, Nöggerath ebensolche bei Adenau in der Eifel, und durch letztere Entdeckung fühlte sich Förstemann angeregt, in einer an interessanten Bemerkungen reichen Abhandlung [16] die Polarität der vulkanischen Gesteinsarten im letztgenannten Gebirge umfassender zu erforschen. Hauptsächlich waren es die Basaltsäulen von Nuyrburg, die sich als ächt polar erwiesen, indem nämlich an jedem abgeschlagenen Handstücke gleich wieder Nord- und Südpol zu unterscheiden waren. Wohl am meisten aber haben gewisse merkwürdige Gesteinsbildungen im Harz, die „Schnarcher" und die „Hohneklippen", von sich reden gemacht. v. Trebra und v. Zach hatten halb zufällig gefunden, dass einzelne Punkte des Schnarcherfelsens polar sich äusserten; daraufhin suchte Vieth planmässig nach und erkannte einen ganzen Längsstreifen als mit magnetischer Richtkraft begabt [17]. Wächter's Bemühungen, eigentliche Gesetzmässigkeit in den magnetischen Kraftäusserungen der verschiedenen Gesteine jener Gegend nachzuweisen [18], hatten wenig Erfolg, während J. L. Jordan [19] in eingesprengtem Magneteisenstein den wahren Grund der Richtkraft erkannt zu haben glaubte.

Melloni, der sich eingehend mit unserem Gegenstande beschäftigte und u. a. auch die Lava den polarmagnetischen Mineralien zugesellte, gab ein eigenes Instrument zur Vornahme derartiger Untersuchungen an [20]. Es ist dies das Magnetoskop, ein astatisches Nadelsystem*), dessen Nadeln jedoch länger und weiter von einander entfernt genommen werden müssen, als bei einem gewöhnlichen Galvanometer. Aehnliche Zwecke zu erreichen hatte sich bereits Le Baillif [22] mit seinem Sideroskop vorgesetzt, welches jedoch durch die Kombination dreier Nadeln schwerlich an Empfindlichkeit dem Magnetoskope gegenüber einen Vorrang behauptet haben dürfte**).

§. 3. **Theoretische Erörterungen über die Polarität.** Selbstverständlich hat es nicht an Versuchen gefehlt, sich über die im vorigen Para-

---

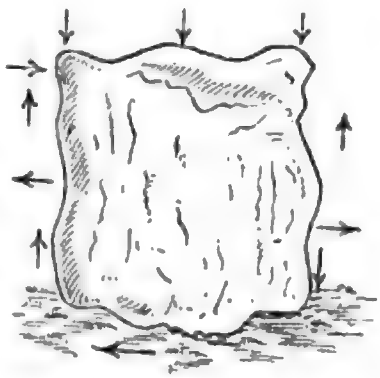
mann's mineralogischer Bestimmung und giebt im Gegentheile an, dass Suckow als Hauptbestandtheil des Frankensteiner Massives einen durch Syenit emporgetriebenen Diorit-Stock erkannt habe, der von chromhaltigem Magneteisen vollständig durchsetzt sei. In der That ist die attraktive Wirkung des Serpentines eine verschwindende.

*) Astatisch nennt man jede Verbindung von Magnetnadeln, durch welche die Richtkraft des Erdmagnetismus neutralisirt wird; die analytische Theorie entwickelt Rüter [21].

**) Ausführlich verbreitet sich auch Muncke [23] über das Sideroskop und die theilweise hochgehenden Erwartungen, welche von manchen Seiten an Werkzeuge dieser Art geknüpft wurden. Namentlich weist er hin auf J. W. Ritter's, des Romantikers unter den Physikern, Konstruktion eines ähnlichen Instrumentes, welches zur Auffindung verborgener metallischer Lagerstätten dienen sollte. Die Wünschelruthe, das Schwefelkiespendel und derartige Dinge beherrschten in dem ersten Jahrzehnte unseres Jahrhunderts vielfach das Feld der Diskussion, zumal nachdem auch die Naturphilosophen Schelling'scher Observanz sich dafür zu begeistern begonnen hatten. Es war deshalb ein wohlthätiges Werk des verdienten L. W. Gilbert, in einer Reihe kritischer Darlegungen jenen Versuchen das erborgte Gewand sublimer Wissenschaftlichkeit abzustreifen und die Forschung in bessere Bahnen zurückzuleiten [24]. Eine höchst sonderbare Theorie der unter der Einwirkung metallischer Stoffe zu beobachtenden Pendelbewegungen wurde von Knoch [25] aufgestellt.

graphen gekennzeichneten Erscheinungen auch unter dem theoretischen Gesichtspunkte klar zu werden, doch ist bis jetzt nicht sehr viel dabei herausgekommen. Freilich ist aber auch der hier in Frage kommende Komplex von Thatsachen ein äusserst verwickelter, da ein tieferes Eindringen in das Innere der magnetischen Massen sich meistentheils verbietet. Wie unregelmässig die Wirkungen sich häufig gestalten, erhellt aus Fig. 1, welche (nach Förstemann) einen Lavablock der Eifel vorstellt; die Pfeile deuten die Richtungen an, in welchen die um die Peripherie des Blockes herumgeführte Magnetnadel sich an den einzelnen Punkten einstellt. Freiesleben glaubte, wie Humboldt (a. a. O.) anführt, dass ein Blitzschlag den Granit, aus welchem die Schnarcher bestehen, magnetisch gemacht habe. Humboldt selbst eignet sich diesen Erklärungsversuch seines Freundes nicht an, vielmehr hält er dafür, dass alle mit Richtkraft ausgestatteten Felsmassen mit wirklichem Magnetstein, Eisenkalk u. dgl. „tingirt" sein müssten, weil sonst das magnetische Verhalten der Bruchstücke unerklärlich bliebe. „Man sieht hier," sagt er (a. a. O.), „recht eigentlich (wie es Coulomb's Theorie annimmt) ein Fossil, das bis in die kleinsten Molecules aus einzelnen Magneten zusammengesetzt ist."

Fig. 1.



Melloni vermeinte zwischen der ablenkenden Kraft der Gesteine und den sonstigen magnetischen Fernewirkungen einen durchgreifenden Unterschied konstatirt zu haben, indem jene erstere Kraft sich nicht unbegrenzt in den Raum erstrecke, sondern in einem gewissen Abstand völlig zu wirken aufhöre. Wenn er jedoch diesen Abstand der „Magnetkraft der angewandten Instrumente" proportional setzt, so scheint er damit doch nur zu bestätigen, dass der Unterschied kein qualitativer, sondern lediglich ein quantitativer ist. Am gründlichsten waren offenbar Bischof's Untersuchungen; er theilte die von ihm durchgeprobten Serpentine in vier Klassen („polarische, retraktorische, polarisch-retraktorische, unmagnetische") ein und formulirte das folgende Gesetz: Die Entfernungen der Magnetnadel vom Gesteine verhalten sich, wie die Kotangenten der Ablenkungswinkel [26]. Melloni's Erfahrungen vertragen sich hiemit ganz gut, und es wäre nur zu wünschen, dass der Forschungseifer junger Physiker und Geognosten sich auf dieses wenig bebaute Gebiet richtete, um weiteres Material zur Prüfung der Bischof'schen Formel zu erhalten. Nach Thorpe-Rücker (Note on the irregularities in magnetic inclination on the west coast of Scotland, Proceed. of the R. Society, Vol. XXXVI., S. 5 ff.) findet die Lokalattraktion nicht etwa blos in horizontalen, sondern auch unter Umständen in vertikalen Ablenkungen ihren Ausdruck, wie denn z. B. auf der Insel Mull die Neigung einer um ihre horizontale Axe drehbaren Nadel dadurch stark beeinflusst wird. Auffallend gering ist hingegen, wenn Humboldt Recht hat, der von den Alpen auf die Inklinationsnadel ausgeübte Einfluss, während hinwiederum Kreil (2. Band der Wiener Sitzungsberichte) einen recht erklecklichen „Ein-

fluss der Alpen auf die Aeusserungen der magnetischen Erdkraft" nachweisen zu können geglaubt hat.

Denkt man sich eine Erzlagerstätte von magnetischem Charakter als einen in die Erde versenkten Cylinder von bedeutend überwiegender Vertikaldimension, so kann man die Lage des Mittelpunktes dieses Cylinders nach den von Thalén und Daug gegebenen Regeln bestimmen [27]. Die schwedischen Gelehrten entnahmen diese Regeln ihren Untersuchungen über magnet-isodynamische Ortsflächen, welche als einfach unendliche Schaar sich um eine aufrecht stehende Magnetstange herumlegen, und für deren jede die Resultante aus dem Erdmagnetismus und den von beiden Polen ausstrahlenden Attraktions- und Repulsivkräften einen konstanten Werth besitzt. Zweifellos ist dieses Verfahren ein weit sichereres, als das in Maggi's Schrift „Sopra un uso geognostico del filo voltaico" (Verona 1850) vorgeschlagene, welches für verschiedene Richtungen eine verschiedene Leitungsfähigkeit des Gebirges für den galvanischen Strom konstatiren und so die Lagerungsverhältnisse der Erzgänge erkennen möchte.

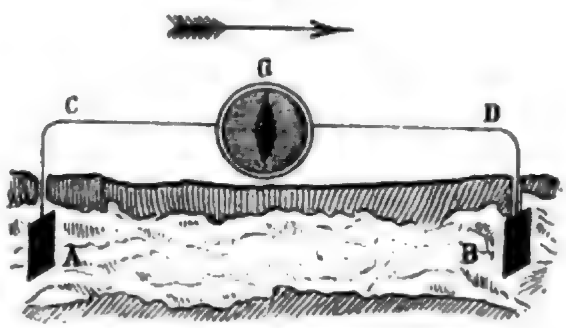
§. 4. **Elektrisches Verhalten der oberflächlichen Erdschichten.** Ebenso wie auf magnetische, reagiren manche Bestandtheile der Erdkruste und der Erdoberfläche auch auf elektrische Einwirkungen. Wenn auch Martini's Versuch [28], der Entstehung der Erzlagerstätten einen analogen galvanischen Process als Ursache zu unterstellen, wie er bei der Bildung eines sogenannten Silber- oder Bleibaumes vor sich geht, keinen Anklang finden konnte — so wenig wie Murchison's sonderbare Idee [29], den Goldreichthum der Gebirge mit den den Erdkörper umgebenden elektrischen Strömen in Beziehung zu setzen —, so lassen doch andererseits Reich's genaue Versuche [30], denen sich solche der Engländer Fox und Phillips anschlossen, darüber keinen Zweifel zu, dass in den Metallgängen der Erdrinde elektrische Lokalströmungen sich offenbaren. v. Möllendorff behauptete sogar [31], dass der elektrische Zustand der Gesteine, aus welchen eine bestimmte Gebirgskette hauptsächlich besteht, auf die Bewegungen der benachbarten Luftmassen, auf die Bildung von Wolken und Regen nicht ohne Einfluss sei, doch hat van Bebber [32] diese Behauptung auf das Entschiedenste zurückgewiesen.

§. 5. **Der Erdstrom.** Der Umstand, dass das Erdreich ein vorzüglicher Leiter elektrischer und galvanischer Ströme ist, war namentlich bei v. Steinheil's glänzender Entdeckung hervorgetreten, dass man zum Telegraphiren nicht zweier gesonderter Drahtverbindungen bedürfe, dass vielmehr die Rückleitung vom Erdboden selbst besorgt werde, sobald an beiden Endstationen Metallplatten hinlänglich tief versenkt und mit dem Drahte in leitende Verbindung gebracht würden [33]. M. Jacobi war — nach Beetz [34] — gleichzeitig auf denselben Gedanken verfallen. Hieran musste sich naturgemäss die weitere Fragestellung anreihen, ob nicht auch spontane Erdströme vorhanden seien und durch geeignete Mittel nachgewiesen werden könnten, zumal da inzwischen Ampère's bekannte Theorie des Elektromagnetismus von sich aus das Vorhandensein solcher Ströme wahrscheinlich gemacht hatte. In diesem Sinne sprachen sich aus Bar-

low [35], Seebeck, welcher unter dem Einflusse der periodisch wechselnden Insolation thermoelektrische Ströme entstehen liess, und Faraday, der den Magnetismus des atmosphärischen Sauerstoffes als das eigentliche Agens nachzuweisen strebte [36]. De la Rive griff [37] auf Seebeck's Ansicht zurück und suchte die später zu schildernden erdmagnetischen Variationen als von atmosphärischen und terrestrischen Strömen thermoelektrischer Natur bewirkt hinzustellen. Baumgartner endlich glaubte die Wechselströme, welche ihm an der Telegraphenleitung Wien-Graz entgegengetreten waren, auf einen immer wieder sich erneuernden Austausch zwischen Luft- und Erdelektricität zurückführen zu sollen [38].

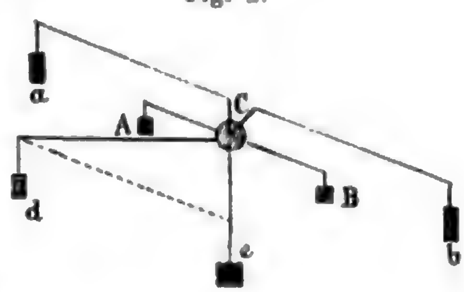
Weitaus die umfassendsten Untersuchungen über Erdströme verdankt man jedoch Lamont, der an eine von der Sonne bewirkte elektrische Ebbe und Fluth dachte [39]. Um sich Material zur besseren Begründung dieser seiner Auffassung zu verschaffen, forderte er die Telegraphenbeamten zur Anstellung zweckdienlicher Beobachtungen und Messungen auf [40]*) und stellte solche selbst sehr eifrig mittelst einer Erdbatterie **) an, welche er im Garten der Sternwarte zu Bogenhausen anlegte. Diese Experimente und die aus ihnen abgezogenen Resultate beschrieb er in einer selbstständigen Schrift [42]. Fig. 3 giebt uns eine schematische Uebersicht über Lamont's Verfahren. In A und B sind Metallplatten in den Boden eingesenkt und durch einen Draht CD mit einander verbunden; in diesen Draht ist aber wieder ein Galvanometer G eingeschaltet, welches aus einer von einer Multiplikator-Rolle umgebenen feinen Nadel besteht. Solange die Platten einander nahe bleiben, könnte man die von der Nadel signalisirten Ströme anderweiten elektromotorischen Kräften, etwa einem ungleichen Oxydations-

Fig. 3.



*) Seine Forderungen liefen in der Hauptsache auf folgendes hinaus (Fig. 2): „Erstens soll durch Galvanometerbeobachtungen in C ermittelt werden, ob in einer kürzeren Linie AB und in einer längeren der Richtung nach übereinstimmenden Linie ab derselbe Strom sich bewegt; zweitens soll ermittelt werden, ob in der Linie AB und in einer parallelen aber seitwärts gelegenen Linie de derselbe Strom sich bewegt (dass es keinen Unterschied macht, ob hiebei die Leitung direkt von d nach e oder von d nach C und von da nach e geht, kann wohl als vollständig konstatirt angenommen werden); drittens soll ermittelt werden, ob die Tiefe der Erdplatten in der Beschaffenheit oder in der Intensität des Stromes einen Unterschied hervorbringt."

Fig. 2.



**) Eine Versuchsreihe mit Erdbatterieen besitzt man auch von R. Wolf [41].

zustande der Platten, auf Rechnung setzen; da aber ein Gleiches eintritt, wenn auch die Platten bis zu 170 m von einander entfernt werden, so bleibt als einzige Erklärung die Annahme eines wirklichen Erdstromes übrig. Die in den Boden eingesenkten Galvanometer verzeichnen, wie Lamont ausdrücklich hervorhebt, nicht sowohl den Erdstrom selber, sondern blos dessen Wellen [43]; die magnetischen Instrumente thun diess zwar auch, allein sie geben weit kräftigere Ausschläge. Da ein künstlich hervorgebrachter Erdstrom sich ganz in gleicher Weise bethätigte, so gelangte Lamont zu folgender Theorie: Werden dem innerhalb der Erde sich fortpflanzenden Strome zwei Leitungen dargeboten, eine kürzere metallische mit begrenztem Querschnitte und eine längere (Erd-)Leitung mit unbegrenztem Querschnitte, so geht der Strom im ersten Augenblicke durch die erstgenannte, tritt aber dann sehr bald in die zweite über; und durch diese Expansion in die Tiefe wird die Stromwirkung auf die magnetischen Instrumente nicht beeinträchtigt. Neuerdings soll Wild bei kürzeren Entfernungen die Nothwendigkeit der Unterscheidung zwischen Erdplattenstrom und eigentlichem Erdstrom gefühlt haben; um letzteren in magnetisch ruhigen Zeiten zu erkennen, bedürfe es einer Leitung von allermindestens fünfzig Kilometer Länge [44]. Schering scheint sogar die Erkennbarkeit solcher kurzer Ströme gänzlich in Abrede stellen zu wollen [45]. — Die Variationen der magnetischen Elemente werden uns im übernächsten Kapitel Gelegenheit geben, auf Lamont's Hypothese von dem kosmischen Ursprung des Erdstromes zurückzukommen.

[1] Martin, Observations et théories sur les attractions et les répulsions magnétiques et sur les attractions électriques, Rome 1865. S. 3 ff. — [2] Caji Plinii Secundi historiae naturalis lib. XXXVII. cap. 16. — [3] Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde, herausgeg. von Löwenberg, 1. Band, Leipzig 1877. S. 44 ff. — [4] Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879. S. 138. — [5] Lucilii De rerum natura lib. VI. v. 908. — [6] Wallentin, Eisensteinlager in Lappland, Humboldt, 3. Jahrgang. S. 150 ff. — [7] Streng, Beitrag zur Kenntniss des Magnetkieses, 21. Bericht der oberhess. Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde. 1882. S. 15 ff. — [8] Safránek, Ueber den Beresit-ähnlichen Fels von Tabor. Sitzungsber. d. k. böhm. Gesellsch. d. Wissensch., 1881. S. 170. — [9] Flögel, Ueber den eisenhaltigen Staub im Schnee, Gaea, 19. Jahrgang. S. 595 ff. — [10] Nordenskiöld, Ueber den kosmischen Staub, der mit atmosphärischen Niederschlägen auf die Erdoberfläche herabfällt, Ann. d. Phys. u. Chem., 151. Band. S. 154 ff. — [11] Tissandier, Sur l'existence de corpuscules ferrigineux et magnétiques dans la poussière atmosphérique, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXXI. S. 576 ff. — [12] Börgen, Die internationalen Polarstationen, (Bremer) Geogr. Blätter. 5. Band. S. 299. — [13] A. v. Humboldt, Ueber die merkwürdige magnetische Polarität einer Gebirgskuppe von Serpentinstein, (Gren's) Neues Journal d. Phys. 4. Band. S. 136 ff. — [14] Bischof, Beobachtungen über die magnetischen Eigenschaften einiger Gebirgsarten des Fichtelgebirgs, (Schweigger's) Journal f. Chem. u. Phys., 18. Band. S. 297 ff. — [15] J. Zimmermann, Ueber eine neue magnetische Gebirgsart, Ann. d. Phys., 28. Band. S. 483. — [16] Förstemann, Ueber das magnetische Verhalten der Basalte und Laven der Eifel, Verhandl. d. naturw. Vereins d. preuss. Rheinlande, 1. Jahrgang. S. 4 ff. — [17] Vieth, Die Schnarcher. Monatl. Korresp. z. Bef. d. Erd- u. Himmelsk., 18. Band. S. 305 ff. — [18] Wachter, Neue Beobachtungen über magnetische Granitfelsen auf dem Harze, Ann. d. Phys., 5. Band. S. 376 ff. — [19] Jordan, Erklärung der magnetischen Erscheinungen im Harzer Granite, ibid. 26. Band. S. 256 ff. — [20] Melloni, Ueber den Magnetismus der Gesteine, Monatsber. d. k. pr. Ak. d. Wissensch., 1854. S. 10 ff.

— [21] Rüter, Die Gleichgewichtslage und Bewegung eines nahezu astatischen Nadelpaares, Itzehoe 1877. — [22] Le Baillif, Ueber die Konstruktion des Sideroskopes und die damit in Bezug stehenden neuen Thatsachen, Ann. d. Phys., 10. Band. S. 507 ff. — [23] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, Neue Auflage, 8. Band, Leipzig 1836. S. 759 ff. — [24] Gilbert, Kritische Aufsätze über die in München wieder erneuerten Versuche mit Schwefelkiespendeln und Wünschelruthen, Halle 1808. — [25] Knoch, Ueber Pendelschwingungen, Ann. d. Phys. u. Chem., 27. Band. S. 360 ff. — [26] Bischof, Beobachtungen etc., S. 310 ff. — [27] Thalén, Om de isodynamiska ytorna kring en vertikal magnetstång; Daug, Redogörelse för formen hos de isodynamiska ytorna kring en vertikal magnetstång, Öfversigt af K. Vetenskaps-Akademiens Forhandlingar, 1874. N. 5. — [28] Martini, Wahrscheinlicher Antheil des Erdmagnetismus an der Beschaffenheit der Lagerstätten von Metallen, Ann. d. Phys., 12. Band. S. 333 ff. — [29] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1879. S. 10. — [30] Reich, Ueber elektrische Stromungen auf Erzgängen, Ann. d. Phys. u. Chem., 48. Band. S. 287 ff. — [31] v. Möllendorff, Die Regenverhältnisse Deutschlands, Görlitz 1862. S. 97 ff. — [32] van Bebber, Die Regenverhältnisse Deutschlands, München 1877. S. 36. — [33] v. Steinheil, Ueber Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte, München 1838. — [34] Beetz, Der Antheil der k. bayrischen Akademie an der Entwickelung der Elektricitätslehre, München 1873. S. 31. — [35] Barlow, On the probable electric origin of all the phenomena of terrestrial magnetism, Philos. Transact., 1831. I. S. 99 ff. — [36] Faraday, Experimental researches in electricity, Philos. Transact., 1846. S. 400 ff. — [37] De la Rive, Traité de l'électricité théorique et appliquée, Vol. III, Paris 1858. S. 280 ff. — [38] Baumgartner, Ueber die Wirkung der natürlichen Elektricität auf die Drähte elektromagnetischer Telegraphen, Ann. d. Phys. u. Chem., 76. Band. S. 135 ff. — [39] Lamont, Ueber die Ursache der täglichen regelmässigen Variationen des Erdmagnetismus, ibid. 76. Band. S. 67 ff. — [40] Lamont, Aufforderung zu Beobachtungen über Erdströme, Zeitschr. d. d. u. öst. Telegraphenvereines, 8. Jahrgang. S. 136 ff. — [41] R. Wolf, Beobachtungen an einer Erdbatterie, Mittheil. d. naturf. Gesellsch. zu Bern, 1855. S. 127 ff. — [42] Lamont, Der Erdstrom und der Zusammenhang desselben mit dem Magnetismus der Erde, Leipzig 1862. — [43] Lamont, Der Erdstrom, Zeitschr. d. d. u. öst. Telegraphenvereines, 9. Jahrgang. S. 238. — [44] Beobachtung der Erdelektricität in kürzeren Leitern, Naturforscher, 17. Jahrgang. S. 2 ff. — [45] Schering, Beobachtungen an Erdströmen, Göttingen 1884.

Kapitel II.

Der Erdmagnetismus und die drei ihn bestimmenden Elemente.

§. 1. **Die magnetische Richtkraft des Erdkörpers.** Der Entdecker dieser Kraft und damit auch des sogenannten Erdmagnetismus ist der uns aus dem ersten Bande (S. 14) bekannte William Gilbert, dessen Hauptwerk [1] in der That schon die wichtigsten Sätze über die Abhängigkeit des magnetischen Verhaltens der Körper von gewissen geographischen Faktoren in sich enthielt. Er begnügte sich nicht damit, Einzelheiten der magnetischen Kraftäusserung unseres Wohnkörpers nachzuspüren, sondern er stellte sofort den Satz auf, dass die Erde ein wirklicher Magnet sei, ganz ebenso begabt mit Polen, wie man solche bei einem gewöhnlichen Stahlmagneten beobachte; zum Nachweise für diese Thatsache sollte ihm eine magnetisirte Stahlkugel, eine sogenannte Terrelle, dienen [2]. Dass dieser Erdmagnetismus, wie man seitdem die fragliche Kraft unseres Planeten

nannte, aus der Axendrehung des letzteren resultire, leugnete Gilbert [3]. Wie korrekt er auch sonst über diese Fragen dachte, mag der Umstand bezeugen, dass er aus einer ganz zufällig in Italien gemachten Beobachtung — die Stange einer Thurmfahne war ganz von selbst magnetisch geworden — sofort ein richtiges Verfahren herleitete, jeden Eisenstab dadurch in einen Magneten zu verwandeln, dass er den irdischen Magnetismus in geeigneter Weise auf ihn einwirken liess [4]. Gilbert's Werk gab den Anstoss zur Begründung einer neuen erdphysikalischen Disciplin, welche im Laufe der nächsten zwei Jahrhunderte unter den Händen eines Gellibrand, Leibniz, Halley, Wilcke, Tob. Mayer, L. Euler — um nur die Namen einiger besonders ausgezeichneter Forscher anzuführen — sich mehr und mehr vervollkommnete. Leibniz sowohl, wie auch besonders der Altdorfer Physiker Sturm, der für seine Idee in einer besondern Schrift [5] eintrat, huldigten bereits der zutreffenden Auffassung, dass ein System über den ganzen Erdkreis sich erstreckender, korrespondirender Beobachtungen erforderlich sei*). Das erste Viertel des gegenwärtigen Jahrhunderts zeichnete sich durch einen besonders rapiden Fortschritt aus: A. v. Humboldt stellte der Forschung ein unendlich reichhaltiges und alles Frühere an Korrektheit weit hinter sich lassendes Material zur Verfügung**), Hansteen erweiterte dasselbe noch durch Reisen im nördlichen Theile der alten Welt und gab zugleich in einem grosssen Werke [8] eine systematische Darstellung des damaligen Gesammtwissens — eine Darstellung, die 20 Jahre fast das Terrain beherrschte und erst dann in den Hintergrund treten musste, als der erste Mathematiker unserer Zeit, C. F. Gauss, mit seinen eine neue Periode einleitenden Arbeiten hervorkam. Wir werden uns mit diesen in den nächsten Abschnitten noch mehrfach zu beschäftigen haben; vorläufig sei nur erwähnt, dass dieselben durch den Herausgeber der Gauss'schen Werke, Schering, fast sämmtlich in deren fünftem Bande vereinigt wurden, dass aber schon vorher die meisten derselben in den verschiedenen Bänden eines von Gauss in Verbindung mit W. Weber veröffentlichten Sammelwerkes [9] enthalten waren. Anwendungen und Verfeinerungen der Gauss'schen Methoden und Theorieen beschäftigen noch heute die Fachmänner mehr denn genug. Am eifrigsten ist in den Fussstapfen des Meisters wohl Lamont dahingewandelt, von welchem neben einer sehr hübschen populären Einleitung in die Lehre vom Erdmagnetismus [10] auch zwei vertreffliche Kompendien für Weiterstrebende [11] verfasst wurden. Eine gute Darstellung des Wissenswürdigsten bietet auch Bessel's Vortrag [12] „Magnetismus der Erde"; von neueren Literatur-Erzeugnissen genereller Natur möchte besonders die durch Tietjen in unsere Sprache übertragene Schrift [13] des englischen Astronomen Airy hervorzuheben sein.

Nachdem wir so in freilich sehr grossen Zügen den Entwicke-

*) Nicht blos an die in China wirkenden Jesuiten-Missionäre, sondern auch an Czar Peter wendete sich Leibniz in einem Briefe vom 21. November 1712. A. v. Humboldt [6] verbreitet sich näher über die dort gemachten Vorschläge

**) Wir verweisen auf die zusammenfassende Würdigung, welche Wiedemann [7] den Humboldt'schen Leistungen auf erdmagnetischem Gebiete angedeihen liess.

lungsgang unseres Wissenszweiges geschildert haben, müssen wir auf die sich jetzt von selbst darbietende Frage antworten: Ist Gilbert nicht allein unter dem systematischen Gesichtspunkte als Begründer der Lehre vom Erdmagnetismus zu betrachten, resp. auf welcher empirischen Grundlage baute er sein System auf? Im Wesentlichen war es nur ein einziges Instrument gewesen, dessen Betrachtung die geringe Menge von Thatsachen, welche Gilbert vorfand, geliefert hatte, allein eben dieses Instrument war zugleich das wichtigste der Nautik und eines der wichtigsten unter denjenigen, welche man als zum eisernen Bestande der Erdphysik gehörig ansehen muss, es war die Boussole oder der Kompass (italienisch Calamita).

§. 2. **Die Nordweisung der freischwebenden Magnetnadel.** Die Entdeckung, dass eine magnetisirte Stahlnadel, welcher innerhalb der Horizontalebene völlige Bewegungsfreiheit gegeben ist, sich stets so einstellt, dass ihre Längsaxe annähernd mit der Südnordrichtung zusammenfällt, reicht in ziemlich frühe Zeiten hinauf. Klaproth machte es wahrscheinlich [14], dass die Boussole — und zwar in der Form länglicher Magnetstückchen, die man auf einen im Wasser schwimmenden Halm legte — bereits unter der chinesischen Dynastie der Thsin in Gebrauch gewesen sei (265—419 n. Chr.). Aus China mag durch den gerade im späteren Mittelalter sehr lebhaft gewordenen Handelsverkehr die Nadel ihren Weg zu den Sarazenen gefunden haben: aus einer Anweisung zur Edelsteinkunde, die Bajlak im Jahre 1282 unserer Zeitrechnung niederschrieb, citirt Klaproth (a. a. O.) die folgende Stelle: „Unter den Eigenschaften des Magnetsteines ist zu erwähnen, dass die Seefahrer an der syrischen Küste sich in finsteren Nächten, wenn die Beobachtung der Sterne nicht mehr möglich ist, einer Nadel bedienen, welche in einem mit Wasser gefüllten Gefässe durch Kork schwimmend erhalten wird und die Südrichtung anzeigt.“ Dafür jedoch, dass nun wieder die Araber den Occident mit der erprobten Vorrichtung bekannt gemacht hätten, fehlt nach Ruge [15] jedweder Beleg; selbst Marco Polo scheint von jener keine Kunde besessen zu haben, wiewohl man in China der magnetischen Wagen, wie man sich ausdrückte, nicht allein auf dem Meere, sondern auch bei'm Durchwandern der Wüsten und Steppen sich bediente. Die Historiker, unter welchen wir uns neben Ruge hauptsächlich auch an Gelcich [16] halten, scheinen darüber einig zu sein, dass der Dichter Guiot de Provins, dessen Poëm um 1190 entstanden sein mag, und der Scholastiker Alexander Neckam die ersten Abendländer waren, welche der Nordweisung der Magnetnadel als einer bekannten Sache Erwähnung thun. Bald darauf gedenkt Lullo derselben als „stella maris“ in seinem „liber de contemplatione“, Jacques de Vitry erinnert sich, ihrer zuerst als Theilnehmer des vierten Kreuzzuges ansichtig geworden zu sein, und Latini, der seltsamerweise nicht etwa an dem heimischen Gestade des tyrrhenischen Meeres, sondern bei dem ihm befreundeten Roger Bacon die erste Boussole gesehen zu haben scheint, spricht sich darüber sehr bestimmt im „Tesoro“ aus: „Prendete una pietra di calamita, voi troverete, che ella ha due faccie, l'una qui giace verso una tramontana, l'altra verso l'altra, e però sarebbero i marinari befatti, se ellino non prendessero garduia.“

Den vielfach falsch aufgefassten Antheil, den Flavio Gioja aus Amalfi an der Erfindung des Schiffskompasses nahm, hat Breusing [17] zuerst richtig aufzufassen gelehrt, man müsste denn die richtige Auffassung bereits in eine allerdings beachtenswerthe Stelle bei Riccioli hineininterpretiren wollen [18]. Der Sachverhalt ist in Kürze dieser. Wenn, wie wohl angenommen werden darf, die ersten Boussolen in einem cylindrischen Kästchen bestanden, in dessen Innerem die Nadel auf feiner Spitze über einer auf dem Boden verzeichneten Strichrose*) spielte, so konnte mit diesem Apparate, falls er unverrückt feststand, wohl die Nordrichtung erkannt und festgehalten werden. Auf dem schwankenden Schiffe dagegen war damit nicht das Mindeste erreicht, und Gioja scheint eben auf den ebenso einfachen wie geistvollen Gedanken verfallen zu sein, den Theilkreis auf der schwingenden Nadel selbst zu befestigen. Möglicherweise kannte derselbe auch schon jene Aufhängung des Kompasses, deren Cardan zuerst im Drucke erwähnt (I. Band, S. 233); wäre diess der Fall, so hätte die nautische Praxis der Folgezeit zu Gioja's Neuerungen nichts Erhebliches mehr hinzuzufügen gewusst. Nur in dem Einen Punkte war man früherhin machtlos, dass man nicht verstand, mechanisch oder rechnerisch den Ablenkungen zu begegnen, welche die in jedem Schiffe vorkommenden und meist sehr unregelmässig vertheilten Eisenmassen des Schiffes für die Magnetnadel im Gefolge haben.

§. 3. **Kompassdeviation.** Wie Gelcich [19] berichtet, war Flinders der Erste, welcher auf diese sogenannte Deviation der Magnetnadel aufmerksam wurde und zugleich ihre Ursache klar erfasste; dieselbe sollte dem Sinus des Kurswinkels proportional sein, und damit sollte die Differenz zwischen dem zu berechnenden und dem wirklichen Stande der Nadel bei meridionaler Richtung so gut wie verschwindend, bei darauf senkrechter Bewegungsrichtung hingegen ein Maximum sein. Uebrigens schlug Flinders auch bereits vor, die ablenkende Wirkung durch einige im Achtertheile des Schiffes angebrachte vertikale Eisenstangen einfürallemal zu neutralisiren, und damit eröffnete er ein zwar dem Umfange nach kleines, aber doch für intensive Bearbeitung sehr geeignetes Spezialgebiet der Navigationskunde, welches in Gelcich einen fleissigen Geschichtschreiber gefunden hat [20]. An ihn lehnt sich natürlich auch unser eigener gedrängter Bericht an.

Scaramella versuchte zuerst die Boussole selbst zu kompensiren, Barlow aber schloss aus seinen Versuchen über inducirten Magnetismus, dass es möglich sein müsse, einen Punkt auf dem Schiffe auszumitteln, in welchem eine Kugel oder Scheibe von weichem Eisen der Deviation gerade die Wage hielte; er formulirte bei dieser Gelegenheit auch den Satz [21], „that the tangents of the angles of deflection are inversely as the cosines of the dip". Darauf hin entwarf Airy, von der englischen Admiralität mit genauer Prüfung der Angelegenheit betraut, die erste strenge mathematische Theorie der

*) Ueber den oft vernachlässigten Unterschied zwischen Wind- und Strichrose verbreitete sich eingehend Breusing's interessanter Vortrag vor dem III. Geographentage.

Deviation. Es sei δ die Grösse der Deviation, c der magnetische Kurs des Fahrzeuges, so kann

$$\sin\delta = A\cos\delta + B\sin(c-\delta) + C\cos(c-\delta) + D\sin(2c-\delta) + E\cos(2c-\delta)$$

gesetzt werden, wo A, B, C, D, E die durch Erfahrung zu bestimmenden Deviationskoefficienten vorstellen [22]. A und E, zwei fast verschwindende Grössen, rühren her von einer horizontalen Induktion in dem weichen Eisen, welches sich unsymmetrisch zu beiden Seiten der durch den Nadelmittelpunkt gelegten Vertikalebene vertheilt findet, B ist die mittlere Resultante der nach dem Buge und C die mittlere Resultante der nach Steuerbord gewandten Richtkräfte, und D endlich charakterisirt jene Induktion, welche in den zum vertikalen Längs- und Mittelquerschnitte des Schiffes symmetrisch angeordneten Massen weichen Eisens erzeugt wird. Zur Kompensation jeder dieser Grössen ward nun eine neue Eisenmasse an bestimmtem Orte angebracht, doch ergab sich bald, dass Vertikalstäbe sich hiezu nur wenig eigneten; dieselben unterliegen nämlich allzusehr dem Krängungsfehler, der darin besteht, dass bei einer Neigung des Schiffes (seemännisch Krängung) die Enden der Magnete aus der ihnen angewiesenen Vertikalebene herausgerathen und so eine neue Deviation veranlassen. Es kann nicht unsere Aufgabe sein, die zahllosen Einzelvorschläge zur Anbringung passender Kompensationsmethoden hier zu registriren, deren Gelcich gedenkt; es genüge vielmehr die Angabe, dass Evans und A. Smith [23] den Krängungsfehler theoretisch zu eliminiren wussten, dass Garbich, eine von Poisson zuerst hingeworfene Andeutung verwerthend, eine auch die geographische Breite in sich aufnehmende Kompensationsformel ableitete [24], dass man später der Rechnung durch sogenannte Kursverwandlungsapparate auszuweichen sich bemühte, dass weiterhin die Dygogramme erfunden wurden [25], welche den Betrag der Deviation durch Zeichnung liefern sollten, dass dann wieder durch Paugger's Dromoskop [26] instrumentale an Stelle der graphischen Konstruktion gesetzt ward, und dass neuerdings durch die Anfertigung der Deviationsmagnetometer auch dem Zwecke Rechnung getragen werden soll, zugleich mit der Bestimmung der normalen erdmagnetischen Konstanten auch jene anormale Ablenkungsgrösse zu bestimmen. Gelcich hat auch eine Reihe neuerer Kompensationsbeobachtungen, die auf Schiffen des österreichischen Lloyd gemacht sind, zusammengestellt und diskutirt [27]. Wer sich näher über die ziemlich verwickelte Frage informiren will, den verweisen wir auf die monographischen Darstellungen von Dittmer [28], Peichl [29], Schaub [30] und Rottok [31], welch' letzterer mit ganz elementaren Hülfsmitteln zurechtzukommen versteht.

Die deutsche Seewarte empfiehlt das Neumayer-Bamberg'sche Magnetometer; ausserdem aber verwendet sie zur Instruktion der Seefahrer mit Vortheil ein — gleichfalls von Neumayer angegebenes — Deviationsmodell [32]. Und ferner werden alle mit der Centralanstalt in Verbindung stehenden Kapitäne angewiesen, gemäss den von ersterer ausgehenden Normativbestimmungen [33] ein vollständiges Deviationsjournal zu führen. Bis jetzt sind von dreiundneunzig ausgegebenen Journalen dieser Art neunundvierzig wieder an den

Auftraggeber zurückgelangt und von letzterem sofort einer sorgfältigen Diskussion unterzogen worden.

Derjenige, dem die schwierige Aufgabe zugefallen ist, die Reise-Aufzeichnungen eines Forschers oder Touristen für die Wissenschaft zu verwerthen, wird öfters in die Lage kommen, Winkelaufnahmen berechnen zu müssen, welche der Betreffende vom Bord eines Schiffes aus gemacht hat, und welche demnach auf die — vom Deviationsfehler nicht befreiten — Angaben des Kompasses sich stützen. Hier gilt es, aus der Noth eine Tugend zu machen und aus geeigneten Peilungen die Grösse jenes Fehlers annähernd herzuleiten, wie diess z. B. Zöppritz bei seiner Diskussion der von De Pruyssenaere auf dem weissen Nil angestellten Messungen gethan hat [34].

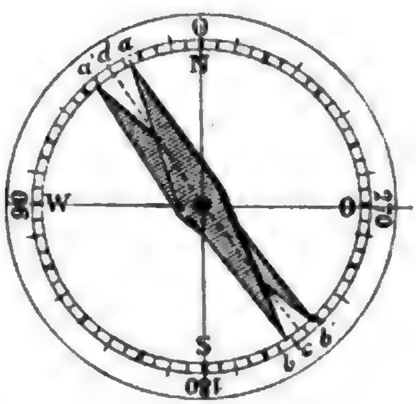
§. 4. **Die magnetische Deklination.** Bis jetzt war nur von der Wirkung gewisser zufälliger Kräfte die Rede, durch welche die horizontale Magnetnadel verhindert ward, sich der ihr innewohnenden Tendenz nach genau in der Südnordrichtung einzustellen. Indess weiss man schon seit geraumer Zeit, dass thatsächlich die Axenrichtung der in Ruhe befindlichen Nadel nicht mit der Mittagslinie zusammenfällt, sondern einen gewissen Winkel mit derselben bildet, welcher in der nautischen Kunstsprache den Namen Missweisung führt, von den Physikern aber Variation oder Deklination genannt wurde, und zwar hat sich dieser letztere Name am meisten eingebürgert. Dass die Deklination bereits den Chinesen bekannt war, steht fest, denn Ke-u-tsung-chy, Verfasser eines aus dem Anfang des XII. Jahrhunderts stammenden Kompendiums der Naturkunde, versichert nach Poggendorff's Angabe [35] in diesem seinem Werke, dass die Spitze der Nadel einen vom Süd- (resp. Nord-) Punkt um $^1/_{24}$ der Peripherie abstehenden Punkt des Theilkreises treffe. Nicht sehr lange nachher machte man auch im Abendlande die gleiche Wahrnehmung; als Karl v. Anjou in Unteritalien mit dem Hohenstaufen Manfred in Fehde lag, hatte er in seinem Gefolge einen Ritter Pierre de Maricourt, und dieser schrieb aus dem Feldlager einen uns erhaltenen Brief an seinen in Frankreich zurückgebliebenen Freund Suger, in welchem er mittheilt, dass er bei Luceria eine Abweichung der Nadel von der Nordsüdrichtung im Betrage von 5° bemerkt habe*). Es ist hienach zuviel gesagt, wenn A. v. Humboldt [39] Colon's Beobachtung der Deklination vom 13. September 1492 als die erste ihrer Art bezeichnet, obwohl ja allerdings sein Wort, es sei diess „ein denkwürdiger Zeitpunkt in den Jahrbüchern der nautischen Astronomie", trotzdem in Geltung bleiben kann. Jene Ortskurve von Punkten verschwindender Deklination, durch welche Colon auf seinen Seereisen mehreremale hindurchpassirt war, sollte sogar als Demarkationslinie zwischen der spanischen Ost- und der portugiesischen

*) Diesem Briefe wie dem Briefschreiber ist es sonderlich ergangen. Eine missverständliche Notiz in Thevenot's „Recueil des voyages" hat es nämlich zuwege gebracht, dass aus der „Epistola Petri ad Sygerum" eine „Epistola Petri Adsygerii" wurde, und obwohl Wenckebach [36] den Irrthum in ganz zutreffender Weise aufklärte, so bewies derselbe gleichwohl eine bei Geschichtsfehlern leider nicht ganz seltene Zähigkeit und wusste sich u. a. auch noch in das schätzenswerthe Werk von Heller [37] einzuschleichen. Eine sehr verdienstliche Spezialarbeit über Maricourt verdankt man dem Pater Bertelli [38].

Westhälfte der Erde eine grosse politische Rolle spielen; hierüber ist die eingehende Darstellung von Ruge [40] zu vergleichen, und E. Mayer schildert [41] des Näheren die freilich missglückten Versuche, welche der Kongress von Badajoz machte, um jene Scheidegrenze zwischen östlicher und westlicher Deklination zum Range eines Anfangsmeridianes der Längenzählung zu erheben. Weitere Messungen der Deklination wurden gemacht von Cabot und Gonzales Oviedo [42]; um 1589 gab Porta die durchschnittliche Ablenkung der Magnetnadel für Italien auf 9° an [43]. Die von Columbus in seinem Schiffstagebuche angegebene Methode, die Missweisung durch Polarsternbeobachtungen zu korrigiren, beruht auf den phantastischen Vorstellungen, welche sich der Entdecker von der Gestalt der Erde gebildet hatte, und ist deshalb unbrauchbar [44]; Pigafetta unternahm es zuerst 1522, solche Korrektionen wirklich durchzuführen, und in der ihrer Zeit berühmten Nautik des Martino Cortez [45] — nicht zu verwechseln mit seinem berühmten Namensvetter Hernan, der sich übrigens auch selbst durch Geschicklichkeit in der Handhabung der Boussole hervorgethan haben soll — wird gelehrt, wie man unter Berücksichtigung der magnetischen Abweichung missweisende in rechtweisende Kurse zu verwandeln habe.

Zur genauen Messung des Deklinationswinkels bot sich von Anfang an naturgemäss die Boussole dar. Wenn die getheilte Scheibe auf der Nadel selbst befestigt und in erstere die genaue Nordrichtung eingezeichnet ist, so ist unmittelbar durch Ablesung der Winkel zu bestimmen, welchen der astronomische Meridian mit dem magnetischen Meridian, d. h. mit einer die Nadel in ihrer Längsaxe durchschneidenden Vertikalebene einschliesst, und dieser Winkel ist eben die Deklination. Dass die sogenannten Deklinatorien sämmtlich auf diesem Grundsatze beruhen, ist unbestreitbar, doch wurden natürlich nach und nach Verfeinerungen an diesen Apparaten angebracht. J. C. Fischer nennt [46] Le Monnier, J. Cassini (de Thury), Seyffer als geschickte Konstrukteure; später fand v. Zach's Instrument [47] viel Anklang, und zu Anfange unseres Jahrhunderts waren am meisten die Deklinatorien von Gambey und Prony in Gebrauch, über deren Einrichtung und Behandlungsweise Horner's Lexikon-Artikel „Abweichung" sich sehr ausführlich verbreitet [48].

Fig. 4.



Der bedenklichste Fehler, welchem das gekennzeichnete Verfahren unterworfen ist, besteht offenbar darin, dass die magnetische und geometrische Axe der Nadel nicht genau mit einander übereinstimmen. In Fig. 4 sehen wir einen getheilten Kreis vor uns, um dessen Centrum eine Nadel, die mit einem Hütchen auf eine Stahlspitze aufgesetzt ist, sich frei drehen kann. Die erste Einstellung der Axe sei ab, die zweite a'b', und zwar sei diese zweite erfolgt, nachdem man die Nadel abgehoben und mit vertauschten Polen abermals auf die Spitze gelegt hat. Alsdann kann man sicher sein, dass dc die wahre gesuchte Lage der

magnetischen Axe der Nadel sei, und zwar ist $Wd = Oc = \frac{1}{2}(Wa + Wa')$ $= \frac{1}{2}(Ob + Ob')$. Schwebt die Nadel nicht auf einer Spitze, ist sie vielmehr in ihrem Schwerpunkte an einem Kokonfaden aufgehängt, so gilt es, den Torsionsfehler zu eliminiren, wozu Liznar folgende einfache Anweisung ertheilt [49]. Zunächst ist darauf zu sehen, dass der Faden durch ein vorher angehängtes Torsionsgewicht möglichst ausgedreht sei, doch darf man immer noch eine geringe vorhandene Tordirung des Fadens als bestehend annehmen, durch welche der Magnet um den (kleinen) Winkel γ abgelenkt wird. Man hänge nunmehr den Torsionsstab, einen Messingstab mit einem kleinen Magneten, ein, der gegen den Meridian die Abweichung g haben möge, so dass also $(g - \gamma)$ die Differenz zwischen den Deviationen des Torsionsstabes und des ursprünglichen Magneten darstellt. Dreht man jetzt den Torsionskreis um 360°, so tritt eine gewaltsame Tordirung des Fadens ein, und zwar mögen die Ablenkungen aus den früheren Stellungen für Magnetnadel und Torsionsstab resp. v und n betragen. Die Winkel, welche nach vollzogener Tordirung Magnet und Stab mit dem magnetischen Meridian bilden, sind $(\gamma + v)$ und $(g + n)$, während die Differenz zwischen den Einstellungen des Torsions- und Magnetstabes $(g + n - \gamma - v)$ beträgt. Da die vorkommenden Winkel klein genug sind, um ohne namhaften Fehler die Sinus durch die Bogengrössen ersetzen zu können, so gilt die Proportion

$$\gamma : (\gamma + v) = (g - \gamma) : (g + n - \gamma - v),$$

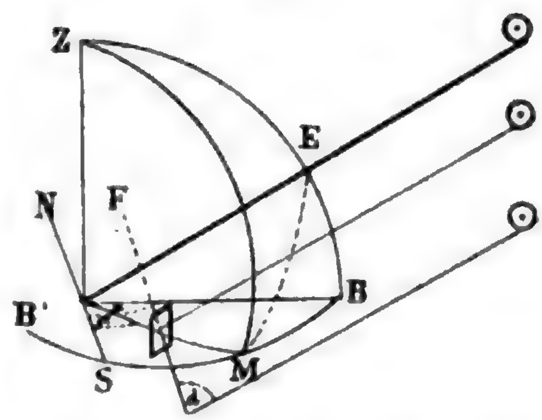
woraus sich $\gamma = \frac{vg}{n}$ berechnet.

Um Deklinationsbeobachtungen in möglichst bequemer Form anstellen zu können, bedient man sich des von Lamont [50] erfundenen magnetischen Reise-Theodoliten. Seinem Namen entsprechend spielt hier der in eine Glasröhre eingeschlossene und deshalb nur geringer Ausschläge fähige Magnetstab so, dass im Ruhezustande seine Axe sich zu derjenigen eines horizontalen Fernrohres parallel einstellt, welches, ohne diese seine Lage zu verändern, längs des Umfanges eines getheilten und mit zwei Nonien versehenen Kreises hin- und herbewegt werden kann. Unter dem Magnetstäbchen ist ein Spiegel befestigt, dessen Ebene zur Longitudinalaxe des ersteren senkrecht steht. Durch eine Stellschraube lässt sich bewirken, dass die Axe des Fernrohres — was an dem Zusammenfallen eines eingeritzten Striches mit seinem Spiegelbilde erkannt wird — zur Spiegelebene rechtwinklig und damit genau in den magnetischen Meridian zu liegen kommt; alsdann werden die Nonien abgelesen. Des Ferneren hebt man das nur lose aufsitzende Rohr, in welchem der Magnet sammt dem ihn tragenden Faden sich befindet, ab und dreht die Theilscheibe solange, bis das Fadenkreuz des Fernrohres sich mit einer schon vorher angebrachten entfernten Meridian-Mire deckt, bis also die Axe in den astronomischen Meridian versetzt ist; die Hamburger Seewarte benützt hiezu den Kirchthurm von Buxtehude. Jetzt liest man abermals die Nonien ab, und die Differenz der Ablesungen ist identisch mit der magnetischen Deklination des Beobachtungsortes. Natürlich fehlt es auch hier nicht an mancherlei

Fehlerquellen, wie denn z. B. das Normalstehen der Nadelaxe auf der Spiegelebene nicht ohne weiteres verbürgt werden kann. Die besten Instrumente dieser Art wurden im Jahre 1883 den Expeditionen mitgegeben, welche Deutschland in die Polargegenden aussendete; Edelmann, der Verfertiger derselben, hat die an ihnen angebrachten Veränderungen und Verbesserungen in einer besonderen Schrift [51] beschrieben.

Eine von den bisher erörterten durchweg verschiedene und sehr geistvolle, wenn auch vielleicht minderer Genauigkeit fähige Methode ist diejenige, welche man Simonoff [52] verdankt. Auf das horizontal schwingende Magnetstäbchen wird an dessen Südende ein ebener Spiegel winkelrecht aufgesetzt, während man das Nordende mit einem entsprechenden Gegengewichte beschwert. In Fig. 5 sei BB′ der Horizont, Z das Zenit, ⊙ die Sonne, C der Standpunkt des Beobachters und zugleich der Mittelpunkt der Magnetnadel, F der Spiegel, NS die Nordsüdrichtung, E der scheinbare Ort der Sonne auf der Sphäre. Mittelst eines Sextanten werde der Winkel d gemessen, welchen die wirkliche Sonne mit dem von genanntem Spiegel zurückgeworfenen Bilde derselben einschliesst, FF′ ist der reflektirte Strahl. Verbindet man hierauf den Punkt M, in welchem die Linie CF den Horizontalkreis schneidet, mit E, bezeichnet ferner das Azimut von M mit α, dasjenige von B mit a, so ist im sphärischen Dreieck

Fig. 5.



MEZ Seite MZ $= 90^\circ$, Seite ME $= 90^\circ - \frac{1}{2}d$, Seite EZ $= z$ die bekannte Zenitdistanz der Sonne, Winkel EZM $= a - \alpha$. Der Cosinussatz ergiebt die Gleichung

$$\sin\frac{d}{2} = \cos z \cos 90^\circ + \sin z \sin 90^\circ \cos(a - \alpha),$$

woraus $\cos(a - \alpha) = \sin\frac{d}{2} : \sin z$ sich ergiebt. Da aber a, das Azimut der Sonne, als bekannt angenommen werden kann, so gilt ein gleiches auch für α, und dieses Azimut des Magnetstabes ist eben nichts anderes, als die Deklination.

§. 5. **Die magnetische Inklination und die Intensität.** Am 4. März 1544 richtete Georg Hartmann, ein Nürnberger Geistlicher, ein Schreiben an Herzog Albrecht von Preussen, in welchem er diesem Fürsten, dem bekannten Freunde des Coppernicus, von einigen neuen Entdeckungen auf dem Gebiete des Magnetismus berichtet, welche er schon ein Jahr zuvor dem römischen Könige Ferdinand habe vorweisen dürfen. Dove hat dieses merkwürdige Sendschreiben publicirt, in welchem u. a. die nachstehende Stelle sich vorfindet [53]: „Zu dem anderen, so finde ich auch diess an dem Magneten, dass er sich nicht allein wendet von der Mitternacht und lenket sich gegen den Aufgang,

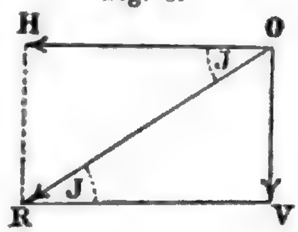
um 9 Grad mehr oder minder, wie ich es gemeldet habe; sondern er zeigt auch unter sich. Diess ist also zu beweisen. Ich mache ein Zungele" — Zünglein —, „ein Finger lang, das nur fleissig wagerecht oder wasserwagerecht auf einem spitzigen Stift steht, also dass solches nirgends sich zu der Erde neige, sondern an beiden Orten gleich in der Wage stehe. So ich aber der Oerter eins bestreiche" — d. h. magnetisire —, „sei gleich, welches Ort sei, so bleibt das Zungele nicht mehr wagerecht stehen, sondern fällt unter sich etwa um 9 Grad mehr oder minder." Mit dieser Entdeckung war ein neues und charakteristisches erdmagnetisches Element aufgefunden, von dessen Vorhandensein auch die scharf beobachtenden Chinesen nichts wussten und von dem auch kein Seefahrer des Entdeckungszeitalters berichtet, obwohl mancher derselben zu ziemlich hohen Breiten gelangt war [54]. Musschenbroek's Aussage zufolge [55] hat dann der Engländer Norman um 1576 die erste Vorrichtung zur Messung dieser Neigung angegeben; Gilbert's Apparat [56] dürfte von demjenigen seines Landsmannes wohl nicht sehr verschieden gewesen sein. Derselbe besteht in einem vertikal aufgestellten Theilkreise, durch dessen Centrum eine horizontale Axe gieng, und an dieser ward die Magnetnadel so befestigt, dass ihre Längsaxe der Theilscheibe immer parallel verblieb. Gilbert bezeichnete das, was wir heutzutage Deklination nennen, als Variation (s. o.), und seine Deklination ist eben der von Hartmann entdeckte Neigungswinkel in der Vertikalebene. Wann der zur Zeit allein übliche Name Inklination für diesen Winkel aufgekommen sei, scheint nicht festgestellt zu sein, doch wird er jedenfalls nicht, wie man wohl da und dort liest, zuerst bei Wilcke angetroffen. Damals vielmehr, als der Basler Mechaniker Dietrich, dem seine künstlichen Magnete zu einiger Berühmtheit verholfen hatten, nach Angaben Daniel Bernoulli's die ersten wirklichen Inklinatorien verfertigte, als L. Euler mit Hülfe derselben die magnetische Inklination von Berlin auf 71° 30′ festsetzte [57], also um das Jahr 1750 herum, hatte der erwähnte Terminus sich bereits das volle wissenschaftliche Bürgerrecht erworben.

Nun lag es nahe, nach der Kraft zu fragen, mittelst deren die magnetische Richtkraft der Erde die vollständig frei bewegliche, resp. nur noch in Einem Punkte unterstützte Nadel sich so einzustellen zwang, dass gerade die als Deklination und Inklination bezeichneten Erscheinungen zu Tage traten. Da diese beiden Winkel für verschiedene Orte der Erde ihre Grösse ändern, so konnte auch das dritte erdmagnetische Element, die Intensität des Erdmagnetismus, keine konstante Grösse sein, und man musste auf Mittel denken, diesen Werth — zunächst freilich nach einem nur konventionellen Maasse — in jedem Einzelfalle zu bestimmen. Man erkannte bald, dass Schwingungsbeobachtungen hiefür das geeignetste Mittel seien, und wenn auch Mallet's erste Versuche in dieser Richtung insoferne unglücklich ausfielen, als daraus für Petersburg und Ponoi in Lappland der gleiche Intensitätswerth zu folgen schien [58], so wurden diese Untersuchungen doch auf den Expeditionen von La Peyrouse und D'Entrecasteaux mit Eifer wieder aufgenommen; dort war Lamanon, hier De Rossel der Beobachter, während die Anregung zu dieser Art erdphysikalischer Forschung hauptsächlich von Borda ausgieng. Dieser

rührige Mann war es auch, der A. v. Humboldt in den Geist seiner Methode einführte, ihn mit trefflichen Instrumenten ausrüstete und so die indirekte Ursache dafür wurde, dass Humboldt der eigentliche Begründer der Lehre von der geographischen Vertheilung der erdmagnetischen Intensität genannt werden muss. Auf seinen Reisen bestimmte er den Werth dieses Elementes an 124 Orten, welche über einen Flächenraum von 115° Längen- und 64° Breiten-Ausdehnung ausgesäet sind, und sah sich so in den Stand gesetzt, die Behauptung der Lords Mulgrave und Cavendish zu widerlegen, welcher zufolge die Intensität mit dem Wachsthum der Breiten stetig abnehmen sollte [59]. Ein ähnliches Verdienst, wie Humboldt, erwarb sich um die obschwebende Frage auch Sabine, dessen Resultate jedoch erst durch Hansteen [60] so gestaltet wurden, dass sie mit denjenigen früherer Forschungsreisenden verglichen werden konnten. Hansteen, und mit ihm G. A. Erman, Keilhau, Schouw, Quetelet und Rudberg, schuldet man in erster Linie Dank dafür, dass Gauss zu seiner genialen Theorie der magnetischen Intensität das genügende Erfahrungsmaterial sich zu verschaffen in der Lage war.

Inklination und Intensität des Erdmagnetismus stehen, wie eine sehr einfache statische Betrachtung zeigt, in nächster Beziehung zu einander. Ist [61] OR (Fig. 6) = T nach Grösse und Richtung die erdmagnetische Kraft für einen bestimmten Punkt der Erdoberfläche, denkt man sich ferner die Papierebene mit dem durch OR zu legenden magnetischen Meridian zusammenfallend, und bezeichnet man mit J den Winkel, welchen OR mit der in der nämlichen Ebene gelegenen Horizontallinie einschliesst, so ist dieser Winkel eben die Inklination; konstruirt man mithin das Rechteck OHRV, in welchem $\sphericalangle$ VRO = $\sphericalangle$ HOR = J ist, so ist weiterhin

Fig. 6.



$$OH = X = T \cos J,\ OV = Y = T \sin J,\ Y = X \operatorname{tang} J,$$

und man ist nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte berechtigt, X als die horizontale Komponente, Y als die vertikale Komponente der erdmagnetischen Intensität aufzufassen. Wäre es verhältnissmässig am leichtesten, X und Y direkt zu bestimmen, so wäre nachher $T = \sqrt{X^2 + Y^2}$ zu berechnen; in Wirklichkeit aber empfiehlt es sich weit mehr, X und J zu messen und hieraus die vertikale Komponente Y, wie auch die Totalintensität T rechnerisch herzuleiten.

§. 6. **Bestimmung der Inklination und Intensität.** Der nächstliegende Gedanke, wenn es sich um die Messung des erstgenannten Elementes handelt, ist nun offenbar jener, den schon Gilbert (s. o.) verwirklichte: eine Magnetnadel längs eines getheilten Vertikalkreises spielen zu lassen, diesen Kreis genau in die Ebene des magnetischen Meridians zu bringen und nun am Limbus den Neigungswinkel abzulesen. Ein solches Inklinatorium gab schon 1617 der Jesuit Cabeus einem seiner nach China reisenden Ordensbrüder mit [62]; im Grossen und Ganzen ähnlich konstruirt waren die von Horner [63] näher beschriebenen Inklinationsboussolen eines Lieutaud, Graham,

La Caille und Nairne. Allein bald ergab sich, dass die an sich schwierige Einstellung in den magnetischen Meridian wenigstens kein unbedingtes Erforderniss für genaue Inklinationsbeobachtungen sei, und allmählig entstand eine ganze Anzahl direkter Methoden zur Messung der Neigung, über deren Besonderheiten wir im Folgenden einen gedrängten Bericht zu erstatten gedenken, und zwar im Anschlusse an die ausgezeichnete Monographie von Hutt [64].

Daniel Bernoulli verfolgte in seiner preisgekrönten Abhandlung [65] wesentlich den Zweck, die Einwirkung der Schwerkraft auf die Neigungsnadel zu kompensiren; da man a priori die Inklination nicht kenne, so müsse man versuchsweise die Lage des Schwerpunktes so lange verändern, bis die Neigung der Nadel im magnetischen Zustande dieselbe wäre, wie im unmagnetischen, und diese Neigung wäre dann die wahre Inklination. Mallet und Krafft modificirten im Interesse der praktischen Verwendbarkeit die an und für sich ganz strenge Regel Bernoulli's [66]. Nicht minder gab sich Tob. Mayer der Aeltere in seiner erst posthum erschienenen „Commentatio de usu accuratiore acus inclinatoriae" alle Mühe, den Gravitationsfehler durch Rechnung, die übrigen Fehler, deren er vier anführt, durch passende Aenderungen in der Konstruktion der Boussole zu beseitigen [67]. Gauss lehrte den uns schon von der Deklination her bekannten Kollimationsfehler zu berücksichtigen, welcher dadurch entsteht, dass die magnetische Axe der gebrauchten Nadel mit der Verbindungslinie ihrer beiden Endpunkte einen von Null abweichenden Winkel macht [68]. Kupffer aber zog es vor, überhaupt aus dem Meridian herauszutreten. Nach R. Wolf [69] hatte bereits D. Bernoulli bemerkt, dass, wenn wieder J die wirkliche Inklination (im magnetischen Meridian), ν die dem Azimut α entsprechende Neigung vorstellt,

$$\operatorname{cotg} J \cos \alpha = \operatorname{cotg} \nu$$

sein muss, woraus zugleich $\operatorname{cotg} J > \operatorname{cotg} \nu$, $J < \nu$ sich ergiebt. Kupffer beobachtete nun [70] unter den Azimuten

$$\alpha,\ \alpha + \frac{1 \cdot 360^0}{n},\ \alpha + \frac{2 \cdot 360^0}{n},\ \alpha + \frac{3 \cdot 360^0}{n} \ldots \alpha + \frac{(n-1)\ 360^0}{n}$$

die jeweiligen Neigungen $\nu, \nu_1, \nu_2, \nu_3 \ldots \nu_{n-1}$, schrieb die entsprechenden Gleichungen an, erhob dieselben sämmtlich ins Quadrat und addirte sie, wodurch er die Relation

$$\sum_{k=0}^{k=n-1} \operatorname{cotg}^2 \nu_k = \sum_{k=0}^{k=n-1} \operatorname{cotg}^2 J \cdot \cos^2\left(\alpha + \frac{k \cdot 360^0}{n}\right)$$

erhielt. Setzt man für den Cosinus von y den ihm gleichen Exponentialausdruck $\frac{1}{2}\,(e^{yi} + e^{-yi})$ ein und rechnet aus, so gilt es nur geometrische Progressionen zu summiren, die Summe der Cosinusquadrate wird $= \frac{n}{2}$, und man hat zum Schlusse:

$$\operatorname{cotg} J = \sqrt{\frac{2}{n} \cdot \sum_{k=0}^{k=n-1} \operatorname{cotg}^2 \nu_k}.$$

Dieses Ergebniss ist von α unabhängig, und es kann im Gegentheile unser Verfahren zugleich dazu dienen, die vorher unbekannte Lage des magnetischen Meridians zu finden.

Aus dem oben Gesagten erhellt, dass die Inklination auch als eine Funktion der Intensität aufgefasst und sohin auf diese letztere zurückgeführt werden kann. Bekanntlich verhalten sich die Quadrate der Schwingungszeiten zweier gleichlanger Pendel umgekehrt wie die sollicitirenden Kräfte. Behalten wir die obigen Bezeichnungen bei, verstehen wir ferner unter C eine gleichzeitig von dem Trägheits- und von dem magnetischen Momente der Nadel abhängige Konstante und unter T_J, T_Y, T_X resp. die Schwingungszeiten dieser nämlichen Nadel, je nachdem wir sie im magnetischen Meridian, oder in einer gewissen zu diesem senkrechten Ebene oder endlich in der Horizontalebene ihre Oscillationen machen lassen, so ist

$$R = \frac{C}{T_J^2}, \quad X = \frac{C}{T_X^2}, \quad Y = \frac{C}{T_Y^2},$$

und, nach den weiter oben getroffenen Festsetzungen,

$$\tang J = \frac{T_X^2}{T_Y^2}, \quad \cos J = \frac{T_J^2}{T_X^2}, \quad \sin J = \frac{T_J^2}{T_Y^2}.$$

Man hat also dreierlei Verfahrungsweisen zur Verfügung, um durch Schwingungsbeobachtungen die Grösse J zu ermitteln. Hutt, dem wir auch hier gefolgt sind, erwähnt [71], dass die Messung von T_X und T_Y durch Coulomb, diejenige von T_J und T_X durch Sabine, endlich diejenige von T_J und T_Y durch Laplace anempfohlen wurde. Für das Detail der Beobachtungen und Rechnungen verweisen wir auf die an Ausführlichkeit nichts zu wünschen übrig lassende Schrift von Liznar [72].

Mit Hutt (s. o.) kann man die Methoden zur Bestimmung der Inklination, von welchen bis jetzt die Rede war, als direkte bezeichnen; es giebt aber auch eine Anzahl indirekter Methoden, deren gemeinsamer Grundgedanke der ist, die gesuchte Grösse aus der Induktionswirkung der Erde, beziehungsweise aus der Einwirkung elektrischer Ströme auf Magnete herzuleiten. Hutt hat auch diesem Cyklus von Untersuchungen eine selbstständige, kritisch vergleichende Schrift gewidmet [73]. Wir verzichten auf eine Erörterung der für die heutige Praxis doch kaum mehr bedeutsamen Vorschläge eines Christie, Lecount, Scoresby, Yelin*), G. G. Schmidt und verweilen nur bei dem Verfahren Lamont's, welches wohl als ein typisches angesehen werden darf [75]. Um Irrthümer zu vermeiden, erklärte es dieser hervorragende Physiker für nothwendig, dass die Nadel weder ummagnetisirt, noch auch nur aus ihren Zapfenlagern herausgehoben werde — freilich aber gehen durch Verzichtleistung auf diese Operationen mehrere der bei Lösung des Problemes nicht zu entbehrenden Gleichungen verloren. „Einen Ersatz für diese ausfallenden Relationen verschafft sich nun Lamont durch Heranziehung eines elektrischen Stromes, in der Weise, dass er die Stellung des Magneten, einmal unter der Einwirkung des Erdmagnetismus allein, dann unter der gemeinsamen Wirkung des letzteren und des galvanischen Stromes betrachtet. Kehrt man den letzteren um, so erhält man eine dritte

*) Bei Hutt steht, wohl in Folge eines Druckfehlers, mehrmals der Name Velin, doch dürfte wohl der durch eine für seine Zeit sehr verdienstliche Schrift [74] über die magnetisch-elektrischen Kräfte bekannte Münchener Akademiker J. K. Yelin (1771—1826) gemeint sein.

Gleichung. Dreht man endlich das Instrument um seine vertikale Axe um 180° und wiederholt jene Aufzeichnungen, so erhält man im Ganzen 6 Notirungen, also auch 6 Gleichungen, aus denen sich 6 Grössen bestimmen lassen." Und unter diesen befindet sich eben die Inklination. Auf ein anderes Princip hat W. Weber sein Induktions-Inklinatorium begründet, welches die Intensität von Strömen misst, die durch die horizontale oder vertikale Komponente des Erdmagnetismus inducirt werden [76]. Sehr genaue Bestimmungen der durch den Erdmagnetismus bewirkten Induktion ermöglicht neuerdings H. Weber's Rotations-Induktor [77].

Nachdem im Vorigen die Bestimmung der Intensität blos eine sekundäre Bedeutung für uns hatte, insoferne es sich nämlich darum handelte, durch Intensitätsmessungen die Inklination zu erhalten, tritt jetzt das dritte erdmagnetische Element selbst für uns in den Vordergrund. Es musste bislang genügen, Intensitätswerthe mit einander zu vergleichen, während jetzt es darauf ankommen wird, für diese Werthe ein absolutes Maass ausfindig zu machen. Diess geschah zuerst in Gauss' unsterblicher Abhandlung „Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata" [78]. Das, was mit diesem Kunstausdruck bezeichnet werden soll, ist besonders von Kohlrausch [79] musterhaft verdeutlicht worden. Gewisse physikalische Grössen, als da sind Geschwindigkeit, Wärme- oder Elektricitätsmengen, sind durch die uns aus dem praktischen Leben geläufigen Maasseinheiten zunächst nicht auszudrücken, und es ist deshalb erforderlich, abgeleitete Maasse ein- und jene Grössen durch geeignete Begriffsbestimmung auf die erstgenannten Maasse zurückzuführen. Gauss und W. Weber haben sich nun insbesondere das Verdienst erworben, alle magnetischen und elektrischen Grössen so zu bestimmen, dass nur das Längenmaass des Millimeters, das Massenmaass des Milligrammes und das Zeitmaass der Sekunde zur Anwendung gelangt. Dieses absolute Maass steht sonach im strikten Gegensatze zu jenen meist nach den Namen berühmter Physiker benannten konventionellen Maasseinheiten, welche als „Ohm", „Farad", „Volt" u. s. w. nach dem Vorgange der Engländer sich einzubürgern beginnen. Als Einheit der Menge von freiem Magnetismus*) oder, was dasselbe ist, als Einheit der Magnetpolstärke,

*) Gauss acceptirt begreiflicherweise die Hülfsvorstellung einer nord- und einer südmagnetischen Flüssigkeit nur als ein brauchbares Schema; „status magneticus corporis," sagt er, „consistit in ratione distributionis magnetismi liberi in singulis ejus particulis" [80]. Man denkt sich bekanntlich meist die kugelförmigen, zur Hälfte mit der einen, zur Hälfte mit der anderen Flüssigkeit gefüllten Moleküle im Inneren eines Eisenstabes in wirrer Unordnung durch einander liegend, und erst durch den Magnetisirungsakt werde all diesen Molekülen die in der Polarität sich offenbarende übereinstimmende Axenrichtung ertheilt. Dem gegenüber will Hughes mittelst einer äusserst feinen Induktionswage ausgemittelt haben, dass im Gegentheile für gewöhnlich die Moleküle eine ganz bestimmte, geometrisch-reguläre Anordnung innehielten, und dass vielmehr die Polarität eine Störung dieser Ordnung, einen unnatürlichen, erzwungenen Zustand bedeute [81]. Nach Werner Siemens müsste jedes Molekül drehbar und selbst wieder als aus einem Paar kleiner Magnete zusammengesetzt gedacht werden, welche nur deshalb unmagnetisch erscheinen, weil sie nach Art astatischer Nadeln (Kap. I, §. 2) an einander liegen. Das Magnetisiren würde eine Drehung zur Folge haben [82]. Freilich dünkt uns, es habe Siemens den Fragepunkt durch seine Theorie mehr nur verschoben, als endgültig geklärt.

bezeichnen wir jenes Quantum oder jene Polkraft, welche auf eine gleiche und um 1 entfernte eine Kraft = 1 ausübt. Diejenige Kraft, welche irgendwo auf der Erde lediglich durch deren Einfluss auf einen Pol 1 ausgeübt wird, nennen wir die Intensität der erdmagnetischen Kraft in absolutem Maasse. Eignet dem Pole nicht die Stärke 1, sondern die Stärke μ, und bedeutet, wie oben, X die erdmagnetische Horizontalkomponente, so ist das Drehungsmoment auf eine zur Kraftrichtung senkrechte Magnetnadel mit zwei Polen $\pm\mu$ im Abstande $l = 2\mu \,.\, X \,.\, \frac{l}{2} = MX$, wenn $M = \mu l$ das magnetische Moment der Nadel bedeutet. Hiernach ist die Einheit der erdmagnetischen Intensität dann gegeben, wenn auf einen Magneten vom Stabmagnetismus 1, dessen Axe auf der Kraftrichtung normal steht, die Einheit des Drehungsmomentes ausgeübt wird.

Wir bleiben nun noch kurz bei der Aufgabe stehen, die erdmagnetische Intensität in dem soeben von uns klar gelegten Sinne zu bestimmen. Sabine glaubte [83] in der Grösse $T_n^2 \sqrt{1 + 3 \cos^2 J_n}$ einen nahe konstanten und als Maass der Intensität brauchbaren Ausdruck ermittelt zu haben, wo T_n die Schwingungsdauer einer Nadel im magnetischen Meridian, J_n deren Inklination vorstellte. Gauss selbst bestimmte [84] fürs Erste mittelst Schwingungsbeobachtungen die Grösse MX, nachmals beobachtete er die Ablenkung, welche der früher verwendete Stab auf einen anderen hervorbringt, und ermittelte so M : X, und durch Multiplikation erhielt er schliesslich den numerischen Werth von M^2. Immerhin liess Gauss sowohl die Torsion der Aufhängedrähte, als auch die Induktion des Erdmagnetismus auf den Magneten ausser Acht, und es blieb Wild [85] vorbehalten, die Methode nach dieser Richtung hin zu vervollkommnen. Derselbe nimmt zwei Magnete mit den magnetischen Momenten M und M′, welche sich abwechselnd in genau fixirter Lage in ein bifilar (s. u. §. 8) aufgehängtes Schiffchen einlegen lassen. Zunächst legt er M ein, versetzt dessen Axe in eine zum magnetischen Meridian senkrechte Lage und liest am Torsionskreise den Drehungswinkel z_1 ab. Dann legt er M in bestimmter Entfernung vom Apparate nieder, bringt M′ durch Drehen am Torsionskreis in die transversale Lage und misst den neuen Torsionswinkel z_2. Endlich dreht er M um 180°, stellt für M′ dieselbe Lage, wie vorhin, her und liest den Torsionswinkel z_3 ab: z_1, z_2 und z_3 liefern die gesuchten Daten nicht blos, sondern auch alle an denselben anzubringenden Korrektionen.

Pfannstiel hat dargethan [86], dass und wie man auch durch blosse Schwingungsbeobachtungen die Horizontalintensität finden könne. Allein so interessant dieser Nachweis auch in theoretischer Beziehung ist, so hat doch Kohlrausch die Mängel solcher mit Zeitmessungen verbundenen Bestimmungen überzeugend erwiesen, indem er zugleich lehrte, wie jene Messungen vermieden werden können [87]. So sah sich denn Töpler [88] veranlasst, ein Instrument in den Dienst der erdmagnetischen Messungsmethoden zu stellen, mit welchem genauer beobachtet werden kann, wie mit irgend einem anderen, und dessen Werth für die Lösung anscheinend sehr weit seitab liegender Aufgaben sich uns schon früher (I. Band, S. 187) überraschend bemerklich machte,

nämlich die Wage. Diese Wägungsmethode ist die feinste und zugleich einfachste unter den bekannten.

Die Tragsäule einer gewöhnlichen Wage ist sammt dem Glasgehäuse auf einem lothrechten Zapfen befestigt und um diesen drehbar: die Drehungen werden an einem getheilten Kreise abgelesen. In der Mitte des Balkens ist ein Magnet befestigt; projicirt man dessen Axe auf die Schwingungsebene, welche Balken und Zeiger in sich aufnimmt, so soll die Projection mit der Zeigerrichtung den Winkel α bilden. Die Komponente des magnetischen Momentes, nach fraglicher Richtung genommen, sei M'. Die Schwingungsebene wird zum Zusammenfallen mit derjenigen des magnetischen Meridianes gebracht; endlich sei das System durch gewisse Belastungen Q_0 und Q_1 der Endschneiden so ins Gleichgewicht gebracht, dass der Balken mit dem Horizonte den nur kleinen Neigungswinkel γ bilde. X und Y seien wieder die beiden Seitenkräfte des Erdmagnetismus, B das Gewicht von Balken und Magneten zusammengenommen, a der Abstand des Gesammtschwerpunktes von der Mittelschneide, β der Winkel, den die Gerade dieses Abstandes mit dem Zünglein bildet, l_0 und l_1 mögen die Abstände der Endschneiden von der Mittelschneide sein. Es wird ferner vorausgesetzt, dass Q_0, Q_1 und B auf absolutes Maass bezogene Schwerkräfte seien. Dann ist die Gleichheit der statischen Momente zu beiden Seiten der Mittelschneide gegeben durch:

$$Q_0\, l_0 \cos\gamma + a B \sin(\beta + \gamma) + Y M' \sin(\alpha + \gamma) + X M' \cos(\alpha + \gamma) = Q_1\, l_1 \cos\gamma.$$

Dreht man die ganze Vorrichtung auf ihrem Zapfen um 180°, so ändert sich das Vorzeichen des Drehmomentes von X. Man nehme jetzt Q_1 weg und bestimme durch Probiren eine Belastung Q_2, gerade gross genug, um auch für die neue Lage des Systemes wieder einen Neigungswinkel γ herbeizuführen. Dann gilt als neue Gleichung:

$$Q_0\, l_0 \cos\gamma + a B \sin(\beta + \gamma) + Y M' \sin(\alpha + \gamma) - X M' \cos(\alpha + \gamma) = Q_2\, l_1 \cos\gamma.$$

Die zweite Gleichung werde von der ersten subtrahirt; dann findet sich

$$2 X M' \cos(\alpha + \gamma) = l_1 (Q_1 - Q_2) \cos\gamma;$$

$$X = \frac{l_1 (Q_1 - Q_2)}{2 (\cos\alpha - \sin\alpha \tang\gamma) M'}.$$

Wenn der Magnet beim Spielen der Wage ungefähr lothrecht steht, so ist M' vom magnetischen Moment M nicht verschieden, und da für $\alpha < 10'$ der Ausdruck $(\cos\alpha - \sin\alpha \tang\gamma)$ selbst dann kaum von 1 abweicht, falls γ einige Grade betragen sollte, so kann mit sehr grosser Annäherung

$$X = \frac{l_1}{2 M} (Q_1 - Q_2)$$

gesetzt werden.

§. 7. **Die erdmagnetischen Linien.** Dass die erdmagnetische Deklination für verschiedene Orte verschieden sei, hatte (s. o. §. 4) bereits Columbus bemerkt, und es lag, sollte man meinen, nachdem diese Verschiedenheit einmal konstatirt war, für einen geometrisch angelegten Geist nicht eben ferne, alle Punkte der Erdoberfläche, für welche der

Ablenkungswinkel ein und derselbe war, durch Kurvenzüge mit einander zu verbinden und so für die Vertheilung der ablenkenden Kräfte ein anschauliches Bild zu schaffen. Uebereinstimmend führen alle Historiker Halley als den ersten an, der diesen Gedanken in die That übersetzt habe, indess scheint nach neuerdings publicirten Forschungen De Andrade Corvo's [89] bereits verschiedenen Seefahrern des XVI. Jahrhunderts die Ehre zuerkannt werden zu müssen, kartographische Versuche dieser Art angestellt zu haben; João de Castro that solches 1538, Vicente Rodrigues 1572, Aleixo de Motta 1588, Gaspar Geimão 1598. Auch Kircher's Karte im „Magnes" geht derjenigen von Halley zeitlich voran, und, wie Poggendorff fand [90], machte schon um 1580 ein gewisser Burroughs sich an die freilich aussichtslose Arbeit, nicht allein graphisch, sondern auch theoretisch die Deklinationen bestimmter Erdorte anzugeben; Kircher schildert (a. a. O.) sein Vorgehen mit diesen Worten: „Observatos declinationis gradus diligenter annotabat in mappa geographica hunc in finem confecta, et per singulos homonymos gradus trahebat lineas, quas ipse vocabat tractus chalyboeliticos." Den Werth seiner Karte soll er auf 50000 Dukaten veranschlagt haben. Nichtsdestoweniger muss Halley's 1701 veröffentlichte Tafel der Deklinationsgrössen, zu deren Erstellung er das Material auf mehreren Seereisen gesammelt hatte, und seine daran geknüpfte Verzeichnung der Linien gleicher Abweichung [91] als eine Leistung ersten Ranges anerkannt werden. Er bezeichnete jene Kurven ebenfalls als „tractus chalyboelitici", welchen etwas schwerfälligen Term A. v. Humboldt [92] durch den praktischeren Isogonen ersetzte. Die erste Karte für die Ortskurven gleicher Neigung, die man mit Humboldt gegenwärtig Isoklinen nennt, wurde von dem Mecklenburger Wilcke gezeichnet [93]. Wiederum Humboldt war es zuerst [94], der auch alle Punkte von gleicher magnetischer Totalintensität durch Linien, die sogenannten Isodynamen, mit einander in Verbindung brachte. Fig. 7, 8, 9 stellen uns diese drei wichtigen Kurvensysteme vor Augen*), bei den Isogonen und Isoklinen ist direkt die Grösse des charakteristischen Winkels angegeben, während in Fig. 9 die beigesetzten Zahlen dem Werthe der Totalintensität in absolutem Maasse entsprechen.

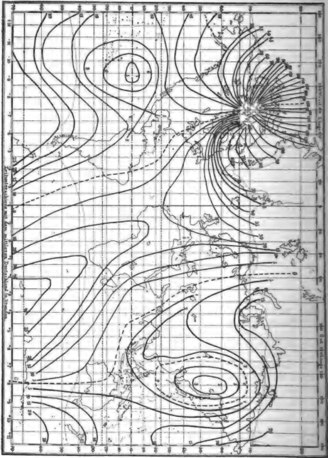
Für die Isogonen wichtig ist die Existenz zweier solcher Linien von Null-Abweichung, welche wenigstens theilweise eine nahezu meridionale Richtung einhalten, wogegen die ostasiatische Null-Linie in sich selbst zurückkehrt. An zwei Stellen der Erdoberfläche fällt die Konvergenz der Isogonen gegen ein und denselben Punkt in's Auge; diese

*) Die besten Karten dieser Art sind in dem von der deutschen Seewarte bei Friedrichsen in Hamburg herausgegebenen kleinen Atlas enthalten. Unsere eigenen Tableaux sind dagegen, um die Schwierigkeiten der Uebertragung in das uns allein zu Gebote stehende kleinere Format zu vermeiden, den trefflichen Kärtchen Wettstein's [95] nachgebildet, die ihren Werth keineswegs dann einbüssen, wenn man sich nicht zu der an ihnen zu erläuternden Theorie bekennt. Uebrigens genügt ein blos die grossen Züge treu wiedergebendes Bild um so mehr, wenn man sich erinnert, dass, als der russische Geograph v. Tillo vor vier Jahren die Isogonen nach den Angaben der englischen Admiralität und der Seewarte auf Einem Blatte zur Darstellung brachte, sehr merkliche Unterschiede sich ergaben. In noch höherem Grade wären solche Unterschiede für die isoklinischen und isodynamischen Linien zu erwarten.

beiden Punkte sind die **magnetischen Erdpole**, und da dieselben, wie ersichtlich, mit den Endpunkten der Umdrehungsaxe nicht koincidiren, so kann auch, was uns bereits bekannt ist, der magnetische Meridian

Fig. 7.

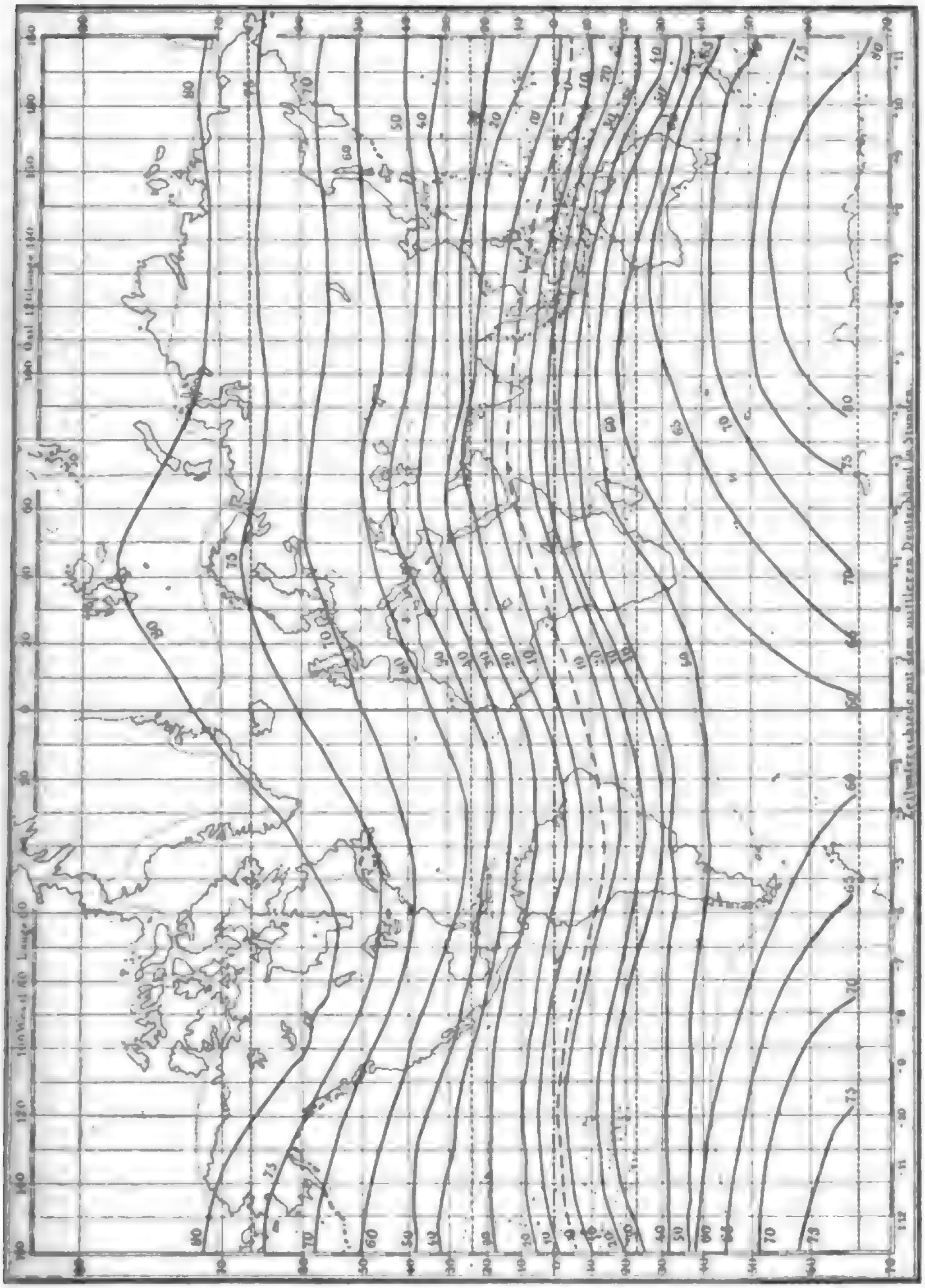
Jsogonen.



sich nicht mit dem astronomischen decken. Den magnetischen Nordpol entdeckte der jüngere Ross am 1. Juni 1831 in Boothia Felix unter 70°5′17″ Norderbreite und 96°46′45″ westlicher Länge von Green-

wich [96]. Die genaue Position des Südpoles ist noch nicht genau bekannt, nach Gauss' Rechnungen würde er unter 72°35′ Süderbreite und 152°30′ östlicher Länge von Greenwich zu suchen sein [97], allein

Fig. 8.

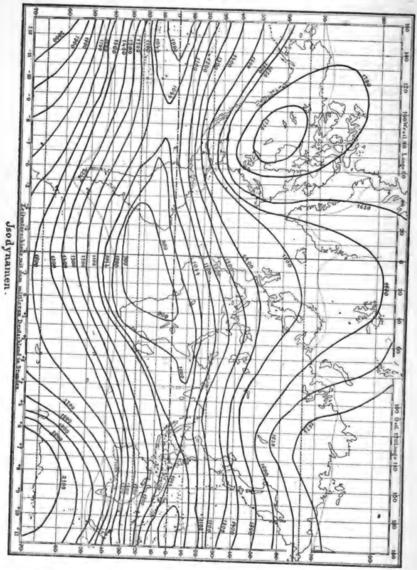


Jsoklinen.

ıuf drei seiner Entdeckung gewidmeten Fahrten vermochte Ross sich ıicht durch den Treibeisgürtel hindurch zu ihm durchzuringen, und er konnte nur sehr wahrscheinlich machen, dass der von Gauss errechnete

Punkt etwa um $2\frac{1}{2}$ nach Süden verschoben werden müsse [98]. Der Verlauf der Isoklinen sticht nicht eben grell von demjenigen der Parallelkreise ab, namentlich jene Linie, längs deren die Neigungsnadel horizontal

Fig. 9.



steht, hat keine grössere Amplitude, als etwa 30°. Man nennt diese Kurve den magnetischen Aequator; seine Lage scharf zu bestimmen, hatte sich namentlich Duperrey [99] zur Aufgabe gemacht,

der ihn in den Jahren 1821—1825 nicht weniger denn sechsmal durchkreuzte. Natürlich steht in den beiden Polen die Neigungsnadel senkrecht auf dem Horizont, und dadurch, dass die beobachtete Inklination 89°59′ betrug, wurde eben Ross darauf aufmerksam gemacht, dass er sich in unmittelbarer Nähe eines magnetischen Poles befinde. Jene zum Meridian senkrechte Ebene, in welcher Sabine (s. o. §. 6) die Nadel schwingen zu lassen empfahl, ist eben dem magnetischen Aequator parallel. Ein Blick auf die Isodynamenkarte lehrt, dass ein relatives Maximum der erdmagnetischen Kraft in den Hudsonsbayländern, ein ebensolches Minimum im südlichen Theile des Atlantik gelegen ist.

Auch neuerdings hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Lage der magnetischen Kurven aprioristisch zu bestimmen. Sabine z. B. theilt eine „Note on the calculation of the isodynamic curves and the focus of greatest intensity in North America“ überschriebene Abhandlung von A. Smith mit [100], in welcher interessante mathematische Untersuchungen über die als Ellipsen vorausgesetzten Isodynamen zu finden sind; diese Annahme kann der Karte zufolge in dem genannten Falle allerdings zugelassen werden. Menzzer hat in höchst mühevollem Kalkul aus den Grenzlinien von Wasser und Land die Lage der magnetischen Pole zu eruiren gesucht, indem er annahm, dass ein die Erde westöstlich umkreisender Strom die Erscheinungen des tellurischen Magnetismus hervorbringe, und dass, wenn ein ungeschlossener Strom durch einen Theil eines Parallelkreises hindurchgehe, der diesem Strome der Wirkung nach äquivalente Pol 90° von dem Mittelpunkt jenes Parallelstückes entfernt sein müsse [101]. So wenig diese Voraussetzung als in der Natur der Sache begründet anerkannt werden kann, so sprach sich doch Neumayer über die praktische Seite der Menzzer'schen Resultate nicht ungünstig aus, soweit durch dieselben genauer Bestimmung des Südpoles Vorschub geleistet werden könne [102].

Eine freilich hochwichtige Frage ist bis jetzt noch nicht gestellt worden: Ist die Lage der für einen bestimmten Termin gezeichneten Kurven eine konstante oder ändert sich dieselbe mit der Zeit? Wir werden diese Frage mit Ja zu beantworten haben, und damit ist zugleich ausgesprochen, dass jedem erdmagnetischen Diagramm strenge genommen nur der Werth eines Momentanbildes zukommt.

§. 8. **Variationen der erdmagnetischen Elemente.** Als Gellibrand 1634 die Deklination für London bestimmte, fand er 4°5′ östlich, während Norman und Gunter in den Jahren 1576 und 1622 resp. eine östliche Abweichung von 6°12′ und 11°15′ ermittelt hatten. Seine diese Entdeckung bekannt gebende Schrift [103] erregte grosses Aufsehen, obwohl Gilbert schon früher — was dem Sinne nach auf das Nämliche hinauskommt — behauptet hatte, dass die Deklinationsmessung sich nicht zur Auffindung der geographischen Länge eigne [104]. Damit war die säkuläre Schwankung der Deklination erkannt. Indess blieb es hierbei nicht lange. Denn Graham entdeckte im Jahre 1722, dass die Deklination nicht nur von Tag zu Tag, sondern sogar von Stunde zu Stunde variire, nachdem Guy-Tachart auf das erstgenannte Faktum schon vierzig Jahre früher in Siam aufmerksam geworden war [105]. Wir haben also auch mit periodischen Schwankungen zu rechnen. Genaue Beobachtungen über diese

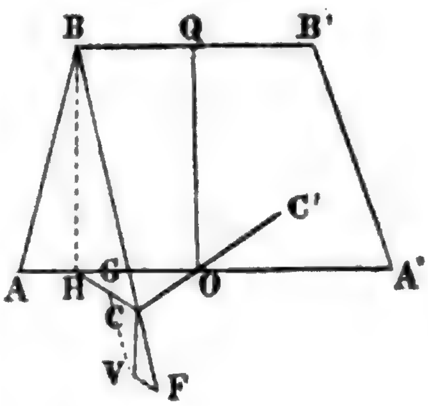
letzteren stellten im Laufe des vorigen Jahrhunderts Celsius in Upsala, Cotte und J. Cassini de Thury in Paris, Macdonald im Fort Marlborough auf Sumatra an [106]. Als Humboldt von seiner amerikanischen Reise zurückkam, organisirte er ein grossartiges Beobachtungssystem in Berlin, an welchem nach und nach auch andere Forscher sich betheiligten. Es wurde ein Häuschen errichtet, ausschliesslich aus Holz und Kupfer; an der Decke desselben war ein Magnetstab aufgehängt, der an jedem Ende eine getheilte Elfenbeinskala trug, und über jeder derselben befand sich ein mit Fadenkreuz versehenes Mikroskop [107]. Heutzutage hat man diese Vorrichtung meist durch Fernrohr und Poggendorff'sche Spiegelablesung ersetzt, und in neuester Zeit scheint sich ein noch besseres Hülfsmittel darbieten zu wollen, seitdem nämlich Töpler am Schlusse seiner uns bekannten Abhandlung über Intensitätsmessung die Eröffnung machte, dass seine magnetische Wage, wenn nur die Schwingungsebene westöstlich stehe, alle Deklinationsschwankungen getreu reproducire. Das tägliche Deklinationsminimum fällt etwa auf 9 Uhr Vormittags, das tägliche Deklinationsmaximum auf 3 Uhr Nachmittags. Humboldt führte namentlich auch das jetzt von allen Forschungs-Expeditionen adoptirte System der Terminbeobachtungen ein; gewisse äquidistante Tage eines bestimmten Zeittheiles werden als Termintage gewählt, und an diesen wird wiederum gewisse Stunden hindurch die schwingende Nadel unaufhörlich verfolgt. Dabei ereignen sich hie und da ungewöhnliche magnetische Perturbationen, die in ihrer Steigerung auch als Ungewitter bezeichnet werden [108]; eine der hauptsächlichsten Ursachen dieses Phänomenes werden wir im übernächsten Kapitel kennen lernen.

Die Inklination hatte schon Gilbert [109] als eine von Breite zu Breite variirende erkannt; Pläne zur Bestimmung der Meereslänge scheint er aber auf diese Wahrnehmung nicht basirt zu haben, obwohl diess viel eher einen Sinn gehabt hätte, als manche andere chimärische Idee, die in dieser Beziehung gehegt ward. Wenigstens bestätigt Humboldt aus seinen Reiseerinnerungen, dass an gewissen Küsten Südamerika's, wo ein bedeckter Himmel die Sternbeobachtung fast durchaus unmöglich macht, eine gute Neigungsnadel zur allgemeinen Orientirung über die Gegend, in welcher man sich gerade befindet, die besten Dienste leiste. Eine unregelmässige tägliche Schwankung der Inklination stellte Graham fest (s. o.). Direkte Messungen der Variationen dieses Elementes werden meistentheils nicht angestellt, da die Grösse der Schwankung rechnerisch aus den beobachteten Veränderungen der Intensität entnommen werden kann.

Liznar hat die Methoden sehr eingehend auseinandergesetzt, nach welchen diese Schwankungen sowohl für die horizontale [110] als auch für die vertikale [111] Intensitätskomponente verfolgt und numerisch festgestellt werden können. Das gebräuchlichste Instrument ist das von Gauss angegebene Bifilarmagnetometer, welches in seiner allgemeineren Form, als Bifilarwage schlechthin, überhaupt zur Messung der von kleinen Kräften bewirkten Veränderungen gebraucht werden kann (vgl. I. Band, S. 156 ff.). Wir geben die Grundzüge der Theorie dieses Instrumentes nach v. Lang [112]. Der Wagbalken AA′ (Fig. 10), dessen Mittelpunkt O ist, wird von zwei gleichlangen

und in den Punkten B, B' stabil befestigten Fäden AB und A'B' so getragen, dass, wenn BQ = B'Q, im Ruhezustande auch OQ senkrecht zu AA', wie zu BB' ist. Wird der Balken um den Winkel AOC = A'OC' = δ aus seiner Ruhelage heraus gedreht, so stimmt die Ebene ACA'C' strenge genommen nicht mehr mit der Horizontalebene überein, und es kann eine solche Uebereinstimmung nur für kleine Winkel δ angenommen werden. Das Gewicht des Balkens sei P; dann wirkt in C eine Vertikalkraft $CV = \frac{P}{2}$, und diese kann nach dem Parallelogrammsatze zerlegt werden in eine Kraft CF, welche lediglich den Faden spannt, und in eine Kraft CG = VF, welche den Balken in die Gleichgewichtslage zurückzudrehen bestrebt ist. Es ist

Fig. 10.



$$VF = VC \,.\, \text{tang}\,(\sphericalangle\, VCF) = \frac{P}{2} \,.\, \text{tang}\,(\sphericalangle\, HBC) = \frac{P}{2} \,.\, \frac{HC}{h},$$

wenn h = OQ ein von B auf AA' gefälltes Loth BH bedeutet. Demnach ist das ganze aus der Schwere des Wagebalkens resultirende Drehungsmoment

$$D = 2 \,.\, \frac{P}{2} \,.\, \frac{a}{h} \,.\, HC \,.\, \sin\,(\sphericalangle\, HCO) = P \,.\, \frac{ab}{h} \,.\, \sin \delta,$$

wenn AA' = 3a, BB' = 2b gesetzt wird. Wenn der Wagebalken, dessen Trägheitsmoment in Bezug auf die Axe OQ = T sein möge, wie ein einfaches Pendel schwingt, wenn τ die Schwingungsdauer und ε die Elongation ist, so gilt die Gleichung:

$$\frac{D}{T \sin \delta} = \frac{P\,ab}{Th} = \frac{\pi^2}{\tau^2}\left(1 + \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}\right).$$

Bringt man es nun, wie beim Bifilarmagnetometer, dahin, dass lediglich noch der Erdmagnetismus bestrebt ist, den Wagebalken in den magnetischen Meridian zurückzuführen, so kann offenbar das Drehmoment des Erdmagnetismus, resp. der in den Horizont fallenden Komponente desselben, ermittelt werden [113].

A. v. Humboldt regte die Einführung und Untersuchung noch anderer, sozusagen sekundärer erdmagnetischer Kurven an. Er erinnert daran, dass die stündliche Schwankung der Deklination an manchen dem Aequator nahe gelegenen Orten nur etwa den vierten Theil der in Europa beobachteten betrage, und es sei deshalb schon von Arago darauf hingewiesen worden, dass es eine Region der Erde, wahrscheinlich zwischen dem geographischen und dem magnetischen Aequator geben müsse, innerhalb deren die Amplitude der periodischen Schwankung gleich Null werde. Diese Kurve, welche man allerdings noch nicht aufgefunden habe, welche aber unseres Wissens auch jetzt noch nicht aufgefunden worden ist, soll die Kurve der Nichtveränderung der stündlichen Abweichung heissen [114].

Dass der tägliche Temperaturgang und damit der Stand der Sonne für die Schwankungen der magnetischen Elemente mitbestimmend

sei, wurde von je her für wahrscheinlich gehalten. Christie, der sich mit dieser Frage zuerst eingehender befasst zu haben scheint, war deshalb der Meinung, dass alle Schwingungsbeobachtungen auf eine fixe Normaltemperatur reducirt werden müssten [115], und dass er hierin Recht hatte, beweist der Umstand, dass heute an jeder magnetischen Messung sorgfältige Temperaturkorrektionen angebracht werden [116]. In der That hat Baxendell [117] es ausser Zweifel gesetzt, dass die Variationen der mittleren Tagestemperatur mit denjenigen der horizontalen Intensität des tellurischen Magnetismus in nächstem Zusammenhange stehen. Und etwas Analoges gilt für die langsamen oder säkulären Aenderungen, indem dieselben sich von der Fleckenbedeckung der Sonne abhängig erweisen.

Freilich ist diess nicht so zu verstehen, als ob sonst keine Faktoren hiebei mitspielten. In einer inhaltreichen Abhandlung hat Oberbeck Alles zusammengestellt, was wir über die Veränderlichkeit der erdmagnetischen Elemente wissen [118]*), und als die wichtigsten Motive elektrische Strömungen im Erdinneren (s. den Erdstrom in §. 5 des vorigen Kapitels) und ferner solche Eisenmassen hingestellt, welche durch elektrische Ströme in magnetischem Zustande erhalten werden. Diese beiden Ursachen können nun wieder entweder rein tellurischer Natur sein, oder es ist auch die Möglichkeit nicht gänzlich in Abrede zu ziehen, dass sie irgendwie mit der Menge der uns von der Sonne zugesandten Wärmestrahlen korrespondiren. Wir dürfen uns demgemäss nicht der Pflicht entschlagen, den bereits auf Seite 62 des ersten Bandes flüchtig gestreiften Parallelismus im Gange der erdmagnetischen Variationen und der Sonnenfleckenfrequenz näher in's Auge zu fassen.

Ueber die manch' spannende Momente darbietende Entdeckungsgeschichte dieses merkwürdigen Zusammenhanges lässt sich eine der berufensten Stimmen, diejenige Rudolf Wolf's, vernehmen, wie folgt [120]: „Es wurde 1851—52 nahezu gleichzeitig durch Johannes Lamont, der schon 1845 in Dove's Repertorium auf eine periodische Zu- und Abnahme in der mittleren täglichen Bewegung der Magnetnadel hingewiesen hatte, in eben diesen Variationen, und durch Edward Sabine in der Häufigkeit der magnetischen Störungen eine circa 10 Jahre umfassende Periode nachgewiesen. Sabine scheint sofort bemerkt zu haben, dass seine Periode mit der von Schwabe in der Sonnenfleckenhäufigkeit gefundenen Periode parallel laufe, hielt aber mit Veröffentlichung seiner Entdeckung durch den Druck so lange zurück, dass er Alfrède Gautier und mir ermöglichte, selbstständig und auch unabhängig von einander, den Parallelismus zwischen den Zahlenreihen von Lamont und Schwabe zu finden." Das Jahr 1852 sah sowohl die Publikation Wolf's [121], als auch diejenige Gau-

*) Oberbeck benützt zur Bestimmung der einem bestimmten Jahre entsprechenden Durchschnittsdeklination die Formel $d = a + bt + ct^2$ [119]. Hier sind a, b, c Erfahrungskoefficienten, t bedeutet die Anzahl der Jahre, welche seit einem gewissen Anfangstermine verflossen sind. Für Berlin ist — gerechnet von 1800 an —

$$d = 18^\circ 7' - 0',268t - 0',07t^2;$$

für Göttingen gab Kohlrausch — ab 1870 — die Formel

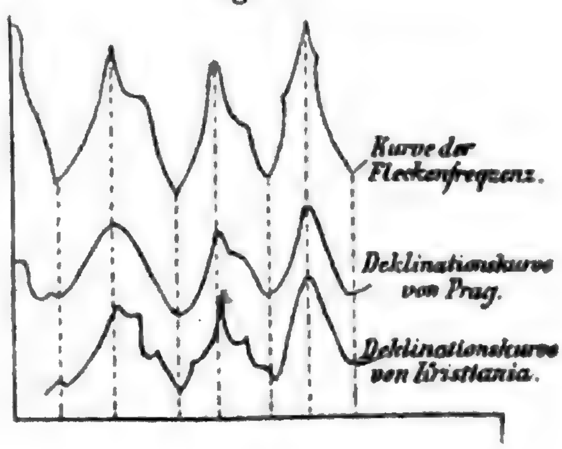
$$d = 14^\circ,29 - 9',108t - 0',05349t^2.$$

tier's [122]. Mit der Sache selbst hat es aber nachstehende Bewandtniss. Wir erinnern uns noch der Art und Weise, wie Wolf (I. Band, S. 61) seine Sonnenflecken-Relativzahlen r bestimmte; er bildete ihnen entsprechend die Variations-Relativzahlen von der Form

$$v = \alpha + \beta r,$$

wo v den mittleren Beobachtungswerth der täglichen Variation in Bogenminuten, α eine für jeden einzelnen Ort konstante Zahl, β aber eine von dem Wechsel der Sonnenflecke abhängige Variable bedeutet, und stellte beide Zahlwerthe einander gegenüber. Natürlich konnte auch die graphische Darstellung mit Vortheil Platz greifen; auf der Abscissenaxe wurden die Zeiten, versinnlicht durch gleichabständige Punkte, abgetragen, und auf den Ordinaten repräsentirte man die diesen Zeiten entsprechenden Relativzahlen, gemessen nach einem an sich willkürlichen, dann aber ein für allemal unverändert beibehaltenen Maassstabe. Fig. 11 giebt ein Bild von dem parallelen Verlaufe der auf diese Art gebildeten Kurven, deren Ordinaten-Maxima und Minima immer annähernd zu der nämlichen Abscisse gehören. Hansteen fand eine analoge Periode für die Inklination und damit auch für die Intensität, wie er in einem an Wolf gerichteten Briefe bekannt gab [123]. Die Periode selbst umfasst mit ziemlicher Genauigkeit und nach Wolf's eigener Bestimmung 11,111 Jahre, wie man auch aus der von ihm selbst ausgearbeiteten Tabelle [124] erkennen kann:

Fig. 11.



Erste Reihe				Zweite Reihe			
Minima		Maxima		Minima		Maxima	
1610,8	8,2	1615,5	10,5	1745,0	10,2	1750,3	11,2
1619,0	15,0	1626,0	13,5	1755,2	11,3	1761,5	8,2
1634,0	11,0	1639,5	9,5	1766,5	9,0	1769,7	8,7
1645,0	10,0	1649,0	11,0	1775,5	9,2	1778,4	9,7
1655,0	11,0	1660,0	15,0	1784,7	13,6	1788,1	16,1
1666,0	13,5	1675,0	10,0	1798,3	12,3	1804,2	12,2
1679,5	10,0	1685,0	8,0	1810,6	12,7	1816,4	13,5
1689,5	9,5	1693,0	12,5	1823,3	10,6	1829,9	7,3
1698,0	14,0	1705,5	12,7	1833,9	9,6	1837,2	10,9
1712,0	11,5	1718,2	9,3	1843,5	12,5	1848,1	12,0
1723,5	10,5	1727,5	11,2	1856,0	11,2	1860,1	10,5
1734,0		1738,7		1867,2		1870,6	
11,20 ± 2,11 ± 0,64		11,20 ± 2,06 ± 0,63		11,11 ± 1,54 ± 0,47		10,94 ± 2,52 ± 0,76	

Fritz, in dessen Schrift auch das von anderen Gelehrten angesammelte und verarbeitete Beobachtungsmaterial zu finden ist, zieht

aus seinen eigenen Untersuchungen noch den Schluss: „Bei der Deklinationsbewegung entsprechen den Fleckenmaxima grössere fortschreitende Bewegungen der Nadel, während kleinere und selbst rückgängige Bewegungen mehr zur Zeit der Fleckenminima eintreten“ [125]. Uebrigens hat ganz in neuester Zeit Balfour Stewart im Vereine mit Dodgson, gestützt auf die Tabellen von Loomis, „Variationszahlen“ berechnet [126], welche Wolf mit seinen Relativzahlen verglichen und mit diesen sehr gut zusammenstimmend erfunden hat [127].

§. 9. **Erdmagnetische Selbstregistratoren.** Die ungemein grosse Mühe, welche (s. o.) die fortlaufende Beobachtung der magnetischen Schwankungen verursacht, kann bis zu einem gewissen Grade den Männern der Wissenschaft abgenommen und einem selbstregistrirenden Instrumente aufgebürdet werden. Liznar erklärt [128], dass bereits Lamont Vorrichtungen dieser Art ausgesonnen habe, dass dieselben jedoch zu allgemeinerer Anerkennung nicht gelangen konnten. Man hat später zu diesem Zwecke photographische Magnetographen konstruirt; ein solcher Apparat ist seit 1857 in dem berühmten geophysikalischen Observatorium zu Kew aufgestellt und 1859 der zu Aberdeen versammelten „British Association“ demonstrirt worden. Man lässt durch einen Spalt ein schmales Lichtbündel auf den mit der oscillirenden Nadel fest verbundenen Spiegel auffallen; dieser reflektirt die Strahlen und sendet sie einer Cylinderlinse zu, in deren Brennlinie sich jene zu einem hellen Lichtpunkte vereinigen. Gerade durch diesen Lichtpunkt geht aber auch der mit photographisch präparirtem Papier bekleidete Mantel einer um eine Vertikalaxe drehbaren Trommel, und so zeichnet sich photographisch auf diesem Mantel eine Kurve, welche als das treue Bild der von der Nadelspitze beschriebenen Linie betrachtet werden kann. Zuletzt wird der Cylindermantel in eine Ebene ausgebreitet, und zugleich ermittelt, welcher Absolutwerth einer Verschiebung des Lichtpunktbildes um einen auf dem Papier gemessenen Millimeter entspricht.

Börgen zufolge [129] werden die Variationen des Erdmagnetismus zur Zeit photographisch aufgezeichnet in Kew, Greenwich, Stonyhurst, Paris, Lissabon, Utrecht, Wilhelmshafen (mit von der Potsdamer Sonnenwarte geliehenen Instrumenten), Wien, Paulowsk bei St. Petersburg, Melbourne, Zi-ka-wei unweit Shanghai und San Diego in Kalifornien. Dass künftighin auch die wissenschaftlichen Reisenden und vor Allem die stabilen Expeditionen mehr denn bisher mit solchen Selbstregistratoren betheilt werden möchten, wird Jeder wünschen müssen, der eben aus Börgen's Darlegungen sich über die gewaltigen Anforderungen informirt hat, welche zur Zeit noch an die Beobachter der erdmagnetischen Oscillationen gestellt werden müssen [130]. Eine gute Uebersicht über die vorhandenen Beobachtungsstationen giebt auch Birnbaum [131].

[1] Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure physiologia nova, Londini 1600. — [2] Ibid. S. 71 ff. — [3] Ibid. S. 119 ff. — [4] Ibid. S. 141. — [5] Sturm, Epistola invitans ad observationes magneticae variationis communi studio junctisque laboribus instituendas, Altdorfi 1682. —

[6] A. v. Humboldt, Asie centrale, Vol. III., Paris 1843. S. 470. — [7] Bruhns, Alexander v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, 3. Band, Leipzig 1872. S. 55 ff. — [8] Hansteen, Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, Kristiania 1819. — [9] Gauss-W. Weber, Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereines, Göttingen 1837—43. — [10] Lamont, Astronomie und Erdmagnetismus, Stuttgart 1863. — [11] Lamont, Handbuch des Erdmagnetismus, Leipzig 1849; Handbuch des Magnetismus, ibid. 1867. — [12] Bessel, Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, herausgeg. von Schumacher, Hamburg 1848. S. 326 ff. — [13] Airy, Ueber den Magnetismus, deutsch von Tietjen, Berlin 1874. — [14] Klaproth, Lettre à Mr. le baron de Humboldt sur l'invention de la boussole, Paris 1834. — [15] Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881. S. 21. — [16] Gelcich, Studien zur Entwickelungsgeschichte der Schifffahrt, mit besonderer Berücksichtigung der nautischen Wissenschaften, Laibach 1882. S. 39 ff. — [17] Breusing, Flavio Gioja und der Schiffskompass, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 4. Band. S. 31 ff. — [18] Riccioli, Geographiae et hydrographiae reformatae libri XII, Bononiae 1661. S. 470. — [19] Gelcich, Studien etc. S. 144 ff. — [20] Gelcich, Ueber Kompensationen und Kursverwandlungsapparate, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1883. S. 273 ff. S. 337 ff. S. 373 ff. — [21] Barlow, On the errors in the course of vessels, occasioned by local attraction, Philos. Transact., 1831, I. S. 225. — [22] Gelcich, Ueber Kompensationen etc., S. 276 ff. — [23] Evans-A. Smith, Admiralty manual for ascertaining and applying the deviation of the compass, caused by the iron of a ship, London 1862. — [24] Gelcich, Ueber Kompensationen etc., S. 283 ff. — [25] Ibid. S. 342 ff. — [26] Ibid. S. 345 ff. — [27] Gelcich, I recenti progressi della scienza nautica e loro applicazione alla pratica della navigazione, Rivista della marina mercantile, Anno I. S. 74 ff. — [28] Dittmer, Die Deviation der Kompasse am Bord eiserner Schiffe, Berlin 1872. — [29] Peichl, Geschichte der Entwickelung des magnetischen Charakters von Eisenschiffen, Triest 1877. — [30] Schaub, Ueber die Deviationen des Kompasses, welche durch das Eisen der Schiffe verursacht werden, Wien 1864. — [31] Rottok, Die Deviationstheorie und ihre Anwendung auf die Praxis, Berlin 1881. — [32] Aus dem Archiv der deutschen Seewarte, 1. Jahrgang, Hamburg 1878. S. 101 ff. — [33] Ibid. S. XXXI. — [34] E. De Pruyssenaere's Reisen und Forschungen im Gebiete des weissen und blauen Nil, bearb. u. herausgeg. von Zöppritz, Ergänzungsheft Nr. 50 zu Petermann's geogr. Mittheil., Gotha 1877. S. 35. — [35] Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879. S. 204. — [36] Wenckebach, Sur Petrus Adsigerius et les plus anciennes observations de la déclinaison de l'aiguille aimantée, Utrecht 1866. — [37] Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Stuttgart 1882. S. 396. — [38] Bertelli, Sopra Pietro Peregrino di Maricourt, Bullet. di bibliogr. e di storia delle sc. mat. e fis., tomo II. S. 1 ff. — [39] A. v. Humboldt, Kritische Untersuchungen über die historische Entwickelung der Geographie von der Neuen Welt und über die Fortschritte der nautischen Astronomie im 15. und 16. Jahrhundert, deutsch von Ideler, 2. Band, Berlin 1836. S. 20. — [40] Ruge, Geschichte etc. S. 267 ff. — [41] E. Mayer, Die Geschichte des ersten Meridianes und die Zählung der geographischen Länge, Wien 1879. S. 6 ff. — [42] Poggendorff, Geschichte etc. S. 271. — [43] Ibid. S. 134. — [44] Gelcich, Studien etc. S. 74 ff. — [45] M. Cortez, Compendio de la sphera y de l'arte de navegar, con nuevos instrumentos y reglas, Sevilla 1589. — [46] J. C. Fischer, Geschichte der Naturlehre, 8. Band, Göttingen 1808. S. 888. — [47] v. Zach, Nachricht von einem sehr vortheilhaft eingerichteten Deklinatorium, Gothaisches Magazin, 9. Band, 2. Stück. — [48] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 1. Band, Leipzig 1825. S. 132 ff. — [49] Liznar, Anleitung zur Messung und Berechnung der Elemente des Erdmagnetismus, Wien 1883. S. 8 ff. — [50] Lamont, Handb. d. Erdmagnetismus, S. 46 ff. — [51] Edelmann, Die erdmagnetischen Apparate der Polarexpedition im Jahre 1883, Stuttgart 1882. — [52] Simonoff, Ueber eine neue Methode, die Deklination der Magnetnadel zu beobachten, Archiv d. Math. u. Phys., 3. Theil. S. 215 ff. — [53] Dove, Repertorium der Physik, 2. Band, Berlin 1838. S. 130 ff. — [54] Poggendorff, Geschichte etc. S 277. — [55] Musschenbroek, Dissertationes physicae et geometricae, Vol. I., Lugduni 1719. S. 189. — [56] Gilbert, De magnete etc. S. 185. — [57] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 3. Band, Zürich 1860. S. 189. — [58] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band, 2. Abth., Leipzig 1836. S. 1125. — [59] Bruhns, A. v. Humboldt, 3. Band, S. 60 ff. — [60] Hansteen, Tafel über die magnetische Inklination und Intensität, Ann. d. Phys. u. Chem., 14. Band. S. 376 ff. — [61] Liznar, Anleitung etc. S. 1. — [62] Cabeus,

Philosophia magnetica, Ferrariae 1629. S. 78 ff. — [63] Gehler, Phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band, 2. Abth. S. 982 ff. — [64] Hutt, Die Bestimmung der magnetischen Neigung, Brandenburg 1874. — [65] D. Bernoulli, Sur la meilleure manière de construire les boussoles d'inclinaison, Paris 1743. — [66] Hutt, Die Bestimmung etc. S. 3. — [67] Ibid. S. 7 ff. — [68] Ibid. S. 12 ff. — [69] R. Wolf, Handbuch der Mathematik, Physik, Geodäsie und Astronomie, 1. Band, Zürich 1869. S. 430. — [70] Hutt, Die Bestimmung etc. S. 15 ff. — [71] Ibid. S. 18. — [72] Liznar, Anleitung etc. S. 13 ff. — [73] Hutt, Die indirekten Methoden zur Bestimmung der magnetischen Neigung, Brandenburg 1884. — [74] Yelin, Ueber Magnetismus und Elektricität, München 1819. — [75] Hutt, Die indir. Meth. etc. S. 7 ff. — [76] Ibid. S. 16 ff. — [77] H. Weber, Der Rotationsinduktor, Leipzig 1882. — [78] C. F. Gauss' Werke, 5. Band, Gotha 1867. S. 79 ff. — [79] Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik, Leipzig 1884. S. 303 ff. — [80] Gauss' Werke, 5. Band. S. 87. — [81] Hughes, Die Natur des Magnetismus, Gaea, 19. Jahrgang. S. 523 ff. — [82] Werner Siemens, Beiträge zur Theorie des Elektromagnetismus, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 14. Band. S. 635 ff. — [83] Sabine, Versuche zur Bestimmung der Intensitäten des Magnetismus der Erde, nebst Beobachtungen über tägliche Oscillationen der Magnetnadel, Ann. d Phys. u. Chem., 6. Band. S. 108 ff. — [84] Gauss, Res. a. d. Beob. etc., Göttingen 1841. S. 1 ff. — [85] Wild, Vollständige Theorie des Bifilarmagnetometers und neue Methoden zur Bestimmung der absoluten Horizontalintensität, Bull. de l'ac. imp. des sc. de St. Pétersbourg, Vol. XXII. S. 74 ff. — [86] Pfannstiel, Ueber eine Methode, die Intensität des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus nur mittelst Schwingungsbeobachtungen zu bestimmen, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 25. Band. S. 271 ff. — [87] Kohlrausch, Absolute Messungen mittelst bifilarer Aufhängung, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 17. Band. S. 737 ff. — [88] Töpler, Ueber die Bestimmung der magnetischen Horizontalintensität mit Anwendung der Wage, Sitzungsber. d. k. pr. Akad. d. Wissensch., 1883. S. 1029 ff. — [89] De Andrade Corvo, Des lignes isogoniques au seizième siècle, Jornal de Sciencias Math. e Astr., publicado pel Gomes Teixeira, Coimbra 1881; Roteiro da Lisboã a Goa por Dom Ioão de Castro, annotado por Ioão de Andrade Corvo, Lissabon 1882. — [90] Poggendorff, Geschichte etc. S. 274. — [91] Halley, A general chart, shewing at one view the variation of the compass, London 1701. — [92] A. v. Humboldt, Ueber die Mittel, um die Erforschung einiger Phänomene des tellurischen Magnetismus zu erleichtern, Ann. d. Phys. u. Chem., 15. Bd. S. 319 ff. — [93] Wilcke, Försök till en magnetisk inklinationskarta, Stockholm 1768. — [94] Bruhns, A. v. Humboldt, S. 61 ff. — [95] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie. Zürich 1880. Tafel 8, 9, 10. — [96] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Alexander v. Humboldt und Carl Ritter, München 1877. S. 524. — [97] Ibid. S. 506. — [98] Ibid. S. 508. — [99] Duperrey, De la configuration de l'équateur magnétique, Ann. de chim. et phys., tome XLV., S. 371 ff. — [100] Sabine, Contributions to terrestrial magnetism, VII, Phil. Transact., 1846, III. S. 248 ff. — [101] Menzzer, Ueber den Zusammenhang der Konfiguration des festen Landes mit der Lage der magnetischen Pole der Erde, Ann. d. Phys. u. Chem., 5. Supplementband. S. 592 ff. — [102] Neumayer, Die Erforschung des Südpolargebietes, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 163 ff. — [103] Gellibrand, A discours mathematical on the variation of the magnetic needle, London 1635. — [104] Gilbert, De magnete etc. S. 166 ff. — [105] Poggendorff, Geschichte etc. S. 726 ff. — [106] J. C. Fischer, Geschichte etc., 8. Band. S. 889 ff. — [107] Bruhns, A. v. Humboldt etc., 3. Band. S. 77 ff. — [108] Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 436 ff. — [109] Gilbert, De magnete etc. S. 204. — [110] Liznar, Anleitung etc. S. 56 ff. — [111] Ibid. S. 69 ff. — [112] v. Lang, Einleitung in die theoretische Physik, 1. Theil, Braunschweig 1867. S. 90 ff. — [113] Ibid. S. 146 ff. — [114] Humboldt, Kosmos, 1. Band. S. 290. — [115] Christie, Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Intensität der magnetischen Kraft, Ann. d. Phys. u. Chem., 6. Band. S. 239 ff. — [116] Liznar, Anleitung etc. S. 23 ff. — [117] Baxendell, On solar radiation, Mem. of the lit. and phil. society of Manchester, (3) Vol. IV. S. 120 ff. S. 147 ff. — [118] Oberbeck, Ueber die zeitlichen Veränderungen des Erdmagnetismus, Leopoldina, 1881. S. 111 ff. — [119] Ibid. S. 115. — [12 R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 657 ff. — [121] R. Wo Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken und ihre Bedeutur Bern 1852. — [122] A. Gautier, Note sur quelques recherches récentes, astron miques et physiques, relatives aux apparences que présente le corps du soleil, Arc

des sc. phys. et nat., Vol. XX. S. 177 ff. — [123] Fritz, Die Beziehungen der Sonnenflecken zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Haarlem 1878. S. 16 ff. — [124] R. Wolf, Mémoire sur la période commune à la fréquence des taches solaires et à la variation de la déclinaison magnétique, Londres 1878. S. 4. — [125] Fritz, Die Beziehungen etc. S. 19. — [126] B. Stewart-Dodgson, Note on an attempt to analyse the recorded diurnal ranges of magnetic declination, Manchester 1881. — [127] R. Wolf, Astronomische Mittheilungen, Vierteljahrsschr. d. naturf. Gesellsch. zu Zürich, 1882. S. 187 ff. — [128] Liznar, Anleitung etc. S. 76. — [129] Börgen, Die internationalen Polarexpeditionen, Bremer Geogr. Blätter. 5. Band. S. 301. — [130] Ibid. S. 298 ff. — [131] Birnbaum, Die neuesten Forschungen über den Magnetismus des Erdganzen und die magnetischen Observatorien, Globus, 11. Band. S. 176 ff.

Kapitel III.

Theorie des Erdmagnetismus.

§. 1. **Aeltere Erklärungsversuche.** Einiger abenteuerlicher Doktrinen, welche die Richtkraft des Erdkörpers mit den in diesem enthaltenen Massen von Magneteisenstein in Verbindung bringen wollten, ist bereits in §. 1 des ersten Kapitels gedacht worden. Weit richtiger in seiner Art urtheilte bereits Gilbert, als er den Satz aussprach [1]: „Centrum virtutum magneticarum in tellure est telluris centrum.“ Galilei hielt, wie aus einem bei Favaro erwähnten Briefe dieses grossen Naturforschers hervorgeht [2], den er unter'm 3. Mai 1608 an Vinta richtete, die Erde für einen vollkommenen Magneten; auf der Nordhalbkugel werde der Südpol, auf der Südhalbkugel der Nordpol der Nadel stärker angezogen, und am Aequator hielten beide Attraktionen einander das Gleichgewicht. Eine originelle, aber leider von Excentricitäten durchaus nicht freie Theorie entwickelte Halley [3]. Die Konfiguration der Isogonen bestimmte ihn, jeder Hemisphäre zwei verschiedene Magnetpole, einen stärkeren und einen schwächeren, zuzutheilen, allein hiemit nicht zufrieden, nahm er auch einen unterirdischen, rotirenden Erdkern an, der durch seine verschiedene Stellung zur Erdkruste die Schwankungen in der Grösse der Deklination bedinge*) (vergl. I. Band, S. 315). Jenen Theil der Entwickelungsgeschichte der erdmagnetischen Theorieen, welchen man als die Periode der exakten

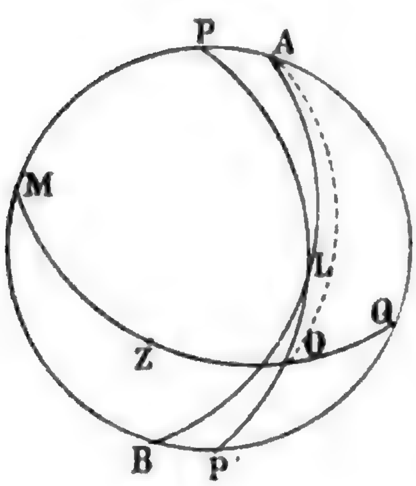
---

*) Es soll gleich hier vorgreifend daran erinnert werden, dass ein deutscher Physiker aus weit späterer Zeit, Namens Steinhäuser, ein stattliches Maass redlichster Arbeit an die undankbare Aufgabe gewendet hat, diese Halley'sche Hypothese wissenschaftlich weiterzubilden. Hier soll nur summarisch auf einige [4] der zahlreichen Abhandlungen hingewiesen werden, welche er diesem Phantom widmete; von einem gewissen Interesse dürfte aber heute noch eine Arbeit sein, in welcher er ganz so, wie es die Astronomen bei neu aufgefundenen Wandelsternen zu thun pflegen, die Bahnelemente seines intratellurischen Planeten zu bestimmen suchte [5]. Die Magnetaxe der Erde macht danach im Zeitraum von 440 Jahren einen vollständigen Umlauf um ihren Mittelpunkt, ist aber dabei zugleich einer konstanten, gegen Osten gerichteten Verschiebung unterworfen. Doch ist diese Axe nicht mit der Erde verbunden, sondern in einem frei beweglichen Planeten enthalten, welcher Minerva genannt werden soll! [6]

Forschung bezeichnen könnte, hat Horner [7] mustergültig dargestellt, seine Schilderung werden auch wir zur Richtschnur nehmen.

Euler dachte sich im Inneren der Erde eine Kugelsehne durch einen homogenen Magnetstab ausgefüllt, dessen Endpunkte zugleich die magnetischen Endpole wären, und fragte sich nun, wie diese Sehne gelegen sein müsse, damit das vorhandene Beobachtungsmaterial durch seine Annahme genügend erklärt werde [8]. Es waren vier Fälle möglich: erstens konnte die Sehne mit einem Durchmesser zusammenfallen, oder sie konnte eine Meridiansehne sein und ihre Endpunkte in entgegengesetzten Hemisphären haben, oder es konnten unter der nämlichen Voraussetzung diese Endpunkte der nämlichen Halbkugel angehören, oder die Endpunkte konnten auch so gelegen sein, dass durch sie und die beiden Erdpole nicht eine und dieselbe Ebene hindurchzulegen war. Da ähnliche Vorstellungen fast ein Jahrhundert lang die maassgebenden waren, so mag es angezeigt sein, die mathematischen Betrachtungen, welche Euler anstellte, an dem einfachsten dieser vier Fälle zu erläutern. In Fig. 12 sind P und P′ die Erdpole, A und B die magnetischen Pole, L ist ein beliebiger Erdort, MQ ein auf der Magnetaxe normaler Hauptkreis, resp. der magnetische Aequator. Wir setzen PA = a, PL = p, ∢ APL = q; der Winkel PLA = δ repräsentirt uns die zu bestimmende magnetische Deklination. Wenn man AL für den Augenblick mit y bezeichnet, so hat man die bekannten beiden Gleichungen

Fig. 12.



$$\sin\delta \sin y = \sin a \sin q,$$
$$\cos y = \cos a \cos p + \sin a \sin p \cos q.$$

Hieraus werde y eliminirt, indem man die zweite Gleichung mit $\sin\delta$ multiplicirt, hierauf beide Gleichungen quadrirt und addirt. So bleibt nur eine Gleichung für $\sin^2\delta$ übrig; hieraus berechne man $\tang^2\delta$ und ziehe, da auf der anderen Seite jetzt ein rationaler Ausdruck steht, die Quadratwurzel aus. So ergiebt sich

$$\tang\delta = \frac{\sin a \sin q}{\cos a \sin p - \sin a \cos p \cos q}.$$

Die verlängerte PL schneidet MQ in O; zieht man den Hauptkreisbogen AO = 90° und bezeichnet PO mit m, so fliesst aus dem Dreieck AOL weiter die Relation (LOA = d)

$$\tang\delta \cos(m - p) = \tang d;$$

d ist die kleinste Abweichung, welche längs des Meridians POP′ vorkommen kann. PQP′M ist derjenige grösste Kreis der Erde, in dessen ganzem Verlaufe gar keine Missweisung der Nadel vorkommt, und umgekehrt findet in dem Pole Z dieses Kreises das für den magnetischen Aequator überhaupt mögliche Deklinationsmaximum statt. All' das wollte nun freilich zu der Halley'schen Isogonenkarte in keiner Weise stimmen, und nicht viel besser ergieng es Euler bei der rechnungsmässigen Durchprobirung seiner drei allgemeineren Annahmen; so sollten beispielsweise im dritten Falle die Isogonen reguläre geometrische

Kurven der dritten Ordnung werden, während sie in Wirklichkeit sich nicht in ein solches Schema hineinzwängen lassen.

Tob. Mayer der Vater gieng von der vierten Euler'schen Hypothese aus, setzte aber die vom Sehnencentrum ausstrahlende Kraft dem umgekehrten Kubus der Distanz proportional; freilich kennen wir seine Methode und Resultate nur aus einigen Andeutungen, da das Manuskript der ungedruckt gebliebenen Arbeit verloren gegangen ist [9]. J. Biot, der 1804 Humboldt's Neigungsbeobachtungen zu bearbeiten begann, glaubte zu deren Darstellung mit einem kleinen cylindrischen Stabmagneten auszukommen, dessen Mittelpunkt er in denjenigen der Erdkugel verlegte [10]. Seine Ergebnisse waren der Theorie nicht eben ungünstig und veranlassten Mollweide [11], eine Reihe von Aufgaben systematisch zu lösen, deren Allgemeincharakter sich in Kürze etwa dahin kennzeichnen lässt, dass aus den magnetischen Koordinaten eines Punktes auf der Erde dessen geographische Koordinaten berechnet werden sollten und umgekehrt. Nicht viel anders dem Sinne nach, nur mit Aufbietung eines grösseren mathematischen Apparates, gieng Hansteen im sechsten Kapitel seines grossen Werkes vor [12], und eben, weil er sich von dieser Anschauung nicht zu trennen vermochte, musste er die Ehre, eine voll befriedigende Theorie des terrestrischen Magnetismus geschaffen zu haben, einem Anderen überlassen.

Wiewohl in diesem Paragraphen strenge genommen nur von älteren Erklärungsversuchen die Rede sein soll, so gebietet doch der Zusammenhang, einige der Zeit nach neuere, dem Sinne nach aber noch in jenen älteren Ideen der Euler'schen Schule wurzelnde Hypothesen gleich mit heranzuziehen. So nimmt Raulin [13] mit Roche (vgl. I. Band, S. 319) einen soliden, aber etwas excentrisch gelegenen Magneteisenkern im Innern der Erde an, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit nicht ganz so gross sei, wie jene der mehr peripherischen Theile. Hiedurch werde eine Rotation der magnetischen um die geographischen Pole eingeleitet, und wenn man auch die Geschwindigkeitsdifferenz nur als $^1/_{600}$ der Oberflächengeschwindigkeit betrachte, so sei doch damit schon das Faktum zu erklären, dass von 1664 bis 1814 das Isogonensystem unter dem 70. Grade nördlicher Breite sich um einen vollen rechten Winkel gedreht habe. Linder ist damit nicht zufrieden, sondern lässt jeden der Pole des Erdkernes eine Kurve zweiter Ordnung beschreiben, während die Axe eine hiedurch jeweils bestimmte Lage annimmt. Um aber den wirklichen Verlauf der erdmagnetischen Linien wahrheitsgemäss darstellen zu können, sieht sich der genannte Autor noch zur Einführung weiterer Hülfsvorstellungen genöthigt [14].

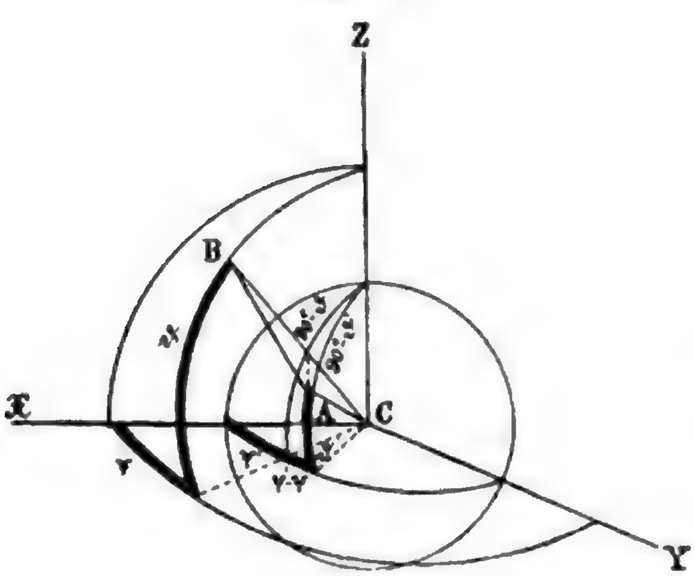
§. 2. **Die Gauss'sche Theorie.** Newton's berühmtes Princip der exakten Naturforschung, welches derselbe mit den Worten „Hypotheses non fingo“ aussprach, ist wohl von keinem Anderen, den Urheber selbst nicht ausgeschlossen, so glänzend zu Ehren gebracht worden, als von Gauss in der Abhandlung [15]: „Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus.“ Dieselbe stützt sich wesentlich auf einen Lehrsatz, den der uns von früher her bekannte englische Geometer Green (vgl. I. Band, S. 165) aufgestellt und bewiesen hatte [16], und der sich folgendermassen aussprechen lässt: Wenn U und V stetige Funktionen der — als Orthogonalkoordinaten eines Raumpunktes aufzufassenden — Ver-

änderlichen x, y, z vorstellen, wobei zugleich vorausgesetzt wird, dass deren Ableitungen für keinen Punkt eines wie immer gestalteten Körpers unendliche Werthe annehmen, wenn ferner dF ein Element der Oberfläche des in Rede stehenden Körpers und dn ein unendlich kleines und auf der in dF errichteten Normale nach Innen zu abgetragenes Linienelement bedeutet, so ist

$$\iiint U\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial^2 z}\right) dx\, dy\, dz$$
$$-\iiint V\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}\right) dx\, dy\, dz$$
$$=\iint V \cdot \frac{\partial U}{\partial n} \cdot dF - \iint U \cdot \frac{\partial V}{\partial n} \cdot dF.$$

Die dreifachen Integrale links erstrecken sich über das ganze Innere, die zweifachen Integrale rechts aber nur über die Oberfläche des Körpers. Aus der blossen Fassung dieses Fundamentaltheoremes der modernen mathematischen Physik geht hervor, wie viel durch dasselbe gerade für die uns beschäftigende Frage geleistet wird. Dass keine Annahme über die Lage und Vertheilung der magnetischen Potenzen im Inneren des Erdkörpers zu irgend brauchbaren Aufschlüssen über die wirkliche Beschaffenheit der magnetischen Kurven und über deren langsame Verschiebungen führt, davon hat uns der vorige Paragraph genugsam überzeugt. Nunmehr aber können wir überhaupt den magnetischen Zustand des Erdinneren gänzlich ignoriren, denn der Lehrsatz Green's gestattet es uns, ausschliesslich die an der Oberfläche wirkenden, sicht- und messbaren Kräfte jenen unbekannten Agentien zu substituiren. Jede Vertheilung des Magnetismus innerhalb der Erde kann durch eine Vertheilung desselben längs der Oberfläche mit dem Effekte ersetzt werden, dass die magnetische Gesammtwirkung des Erdkörpers auf einen willkürlichen Punkt des äusseren Raumes dieselbe bleibt.

Fig. 13.



Wie lässt sich aber diese Wirkung berechnen? Ein Punkt A (Fig. 13) auf der Erdoberfläche sei durch seine räumlichen Polarkoordinaten r, ϑ', ψ', ein ausserhalb gelegener Punkt B ebenso durch ρ, ϑ, ψ charakterisirt, und zwar sollen die Radienvektoren vom Erdmittelpunkte C aus gezählt werden. Die Grösse eines sphärischen Flächenelementes ist einem bekannten stereometrischen Satze nach gleich $r^2 \sin\vartheta'\, d\vartheta'\, d\psi'$ zu setzen, F (ϑ', ψ') soll die von Länge und Breite abhängige Dichte der magnetischen Ladung bedeuten. Da nun (vgl. I. Band, a. a. O.) das Potential einer Masse m auf einen von ihr um d entfernten, mit der Masse 1 erfüllten Punkt $= \frac{m}{d}$ gesetzt war, so ist das magne-

tische Potential jenes Elementes unschwer zu ermitteln. Zieht man nämlich AC, BC und AB, so liefert der Cosinussatz die Gleichung $\overline{AB}^2 = d^2 = r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos (\sphericalangle ACB)$. Die Linie CB schneidet die Kugelfläche in B'; werden A und B' durch Hauptkreisbögen unter sich und mit dem zunächst gelegenen Pole P verbunden, so ist $\cos AB' = \cos (\sphericalangle APB') = \sin \vartheta \sin \vartheta' + \cos \vartheta \cos \vartheta' \cos (\psi - \psi')$. Führt man diese Werthe ein, so erhält man die Potentialfunktion unseres Elementes in $r, \rho, \vartheta, \psi, \vartheta', \psi'$ ausgedrückt, und da die Breiten zwischen $-\frac{\pi}{2}$ und $\frac{\pi}{2}$ resp. 0 und π, die Längen aber zwischen 0 und 2π variiren, so ist das magnetische Gesammtpotential der Erdoberfläche gegeben durch den Ausdruck

$$V = r^2 \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sin \vartheta' F(\vartheta',\psi')\, d\psi'\, d\vartheta'}{\left(r^2 + \rho^2 - 2r\rho\, (\sin \vartheta \sin \vartheta' + \cos \vartheta \cos \vartheta' \cos (\psi' - \psi))\right)^{1/2}}$$

Es greift nunmehr die von Dirichlet aufgefundene und nach dessen Vorträgen von seinem Schüler F. Meyer [17] systematisch begründete Entwickelung nach sogenannten Kugelfunktionen Platz, welche wesentlich auf die im I. Bande, S. 179 behandelte Reihendarstellung hinauskommt, hier aber nur erwähnt sein möge. Dieselbe führt, wenn $a_0, b_0, c_0 \ldots a_1 \ldots e_1 \ldots$ Erfahrungskoefficienten sind, zu dem Resultate

$$V = \frac{r^3}{\rho^2}\left[a_0 \sin \vartheta + (b_0 \sin \psi + c_0 \cos \psi) \cos \vartheta\right]$$
$$+ \frac{r^4}{\rho^3}\left[a_1 (\sin^2 \vartheta - \frac{1}{3}) + \cos \vartheta \sin \vartheta\, (b_1 \sin \psi + c_1 \cos \psi)\right.$$
$$\left. + \sin^2 \vartheta\, (d_1 \sin 2\psi + e_1 \cos 2\psi)\right] + \ldots$$

Nun vollziehen wir den Uebergang von den polaren zu rechtwinkligen Koordinaten, indem wir (s. d. Figur) $z = \rho \sin \vartheta$, $y = \rho \cos \vartheta \cos \psi$, $x = \rho \cos \vartheta \sin \psi$ setzen. Dadurch geht unser Ausdruck über in

$$V = \frac{r^3}{\rho^3}(a_0 z + b_0 x + c_0 y) + \frac{r^4}{\rho^5}\left[a_1 \left(z^2 - \frac{1}{3}\rho^2\right) + b_1 xz + 2 d_1 yz\right.$$
$$\left. + e_1 (y^2 - z^2)\right] + \ldots$$

Wenn wir aber jetzt die drei Koordinatenaxen parallel mit sich selbst so verschieben, dass der Ursprung des Systemes in den Punkt B fällt, wenn wir ferner die alten Koordinaten von A mit x', y', z' und die Koordinaten im neuen Systeme mit X, Y, Z bezeichnen, so kann es durch eine weitere Reihenentwickelung, bei welcher die nicht ins Gewicht fallenden Glieder vernachlässigt werden, dahin gebracht werden, dass, unter V_0 eine gewisse Konstante, unter R der Ausdruck $\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$ verstanden,

$$V = V_0 + \frac{a_0 r^3}{R^3} Z + \frac{b_0 r^3}{R^3} X + \frac{c_0 r^3}{R^3} Y$$

wird. Diess ist, geometrisch gedeutet, die Gleichung einer Ebene, welche magnetisches Feld genannt wird. Nähere Ausführungen enthält u. a. die oben citirte Schrift von Rüter.

Gauss hat sich allerdings nicht mit der hier für genügend erachteten Annäherung begnügt; er hat dieselbe vielmehr soweit getrieben, dass sein Ausdruck für V 24 Zahlenkoefficienten enthält, die durch ebensoviele Beobachtungen der Intensität resp. der Deklination und Inklination zu bestimmen sind. Dann aber, wenn diess geschehen, kann für einen beliebig gewählten Erdort Grösse und Richtung der geomagnetischen Kraft ermittelt werden, und zwar mit einer Exaktheit, wie sie die auf den Magnetstab-Hypothesen beruhende Rechnung fruchtlos anstrebte. Es leuchtet jetzt auch ein, wie es möglich ist, die Lage der Pole theoretisch zu finden; es sind diess Punkte, in welchen die Inklination $= 90^0$, die Deklination aber unbestimmt ist, während ϑ' und ψ' als unbekannte Grössen zu gelten haben. Dass die bewussten numerischen Koefficienten nicht im strengsten Wortsinne konstant, sondern langsamen Aenderungen unterworfen und somit eigentlich Funktionen der Zeit sind, lehrt §. 8 des vorigen Kapitels, und es bedürfen deshalb die Gauss'schen Rechnungsgrundlagen ab und zu einer Revision, damit die Uebereinstimmung mit den Thatsachen gewahrt bleibe.

Einer solchen Revision wurden jene in der musterhaften Arbeit von A. Erman und H. Petersen [18] unterzogen, durch welche die sämmtlichen für die Aeusserungen des terrestrischen Magnetismus maassgebenden Werthe für die Epoche 1829 festgestellt wurden *). Für dieses Normaljahr ergab sich das magnetische Hauptmoment der Erde zu 843450 Quadrillionen Einheiten unseres Intensitätsmaasses [19]. Um sich ein Bild von der Bedeutung dieser Zahl zu machen, denke man sich die erdmagnetischen Kraftwirkungen, wie sie Anno 1829 beobachtet wurden, bewirkt durch mit Magnetismus gesättigte Stahlcylinder von 500 Gramm Gewicht, deren Axen sämmtlich der den magnetischen Nord- und Südpol verbindenden Sehne gleichgerichtet wären. In jedem Kubikmeter Erdsubstanz müssten dann beinahe acht solcher Magnetstäbe vereinigt sein, um eine analoge Wirkung hervorzubringen.

§. 3. **Hypothesen über den Ursprung der erdmagnetischen Kräfte.** Die Bedeutung von Gauss' Errungenschaften wird dadurch nicht geschmälert, wenn man, nachdem eine mathematische Theorie des tellurischen Magnetismus vorliegt, die zunächst nicht mehr in das Gebiet der analytischen Forschung fallende Frage stellt, woher wohl jene Magnetkraft komme, mit welcher wir den Erdkörper, resp. dessen Oberfläche, ausgestattet sehen. Ampère dachte sich im Sinne seiner bekannten Auffassung des Elektromagnetismus die Erdkugel von unzähligen elektrischen Elementarströmungen umkreist, durch welche gleichzeitig die Phänomene des Erdmagnetismus und jene der inneren Erdwärme erklärt werden sollten; „on ne peut douter," meint er, „qu'il existe dans l'intérieur du Globe des courants électro-magnétiques et que ces courants sont la chaleur qui lui est propre" [20]. Hat man

*) Eine dem neuesten Standpunkte unseres Wissens angepasste Karte der magnetischen Gleichgewichtslinien oder Ortskurven gleichen magnetischen Potentiales ist von Neumayer dem Berichte über die Verhandlungen des dritten Geographentages beigegeben worden.

auch diesen zweiten Theil seiner Doktrin abgelehnt, so hat dagegen die Solenoid-Theorie Ampère's vielseitigen Anklang gefunden, indem nur danach gestrebt wurde, für den Ursprung der elektrischen Ströme einen plausiblen Grund ausfindig zu machen.

Viele suchen diesen Grund in der Erde selbst. Wettstein z. B. denkt an die Bewegungen und Verschiebungen, welche nach seiner Thoorie einer ungleichen Rotationsgeschwindigkeit verschiedener Erdpartieen im Inneren unseres Planeten vor sich gehen und dadurch elektrische Ströme auslösen sollten [21]; wir wissen aber (I. Band, S. 250), dass wir jene Prämissen nicht so ohne weiteres anerkennen dürfen. Dagegen bekennt sich Gringmuth [22] zu jenen neueren Ansichten, welche Seite 319 ff. des ersten Bandes über die Beschaffenheit des Erdinnern vorgetragen wurden, und behauptet, dass der innere gasförmige Kern, das Magma und der äussere feste Kugelring nicht sämmtlich mit der nämlichen Geschwindigkeit um die gemeinsame Axe rotirten; diese Rotationsunterschiede sollen Reibungen und diese wieder elektrischen Strömungen zum Dasein verhelfen*). Gemäss seiner in §. 5 des ersten Kapitels erwähnten Ansicht über den Ursprung der Erdströme sah Faraday im Sauerstoff der Luft den Träger des Erdmagnetismus. Parker will [23] Erdmagnetismus und Gravitation, allerdings mit Hinzuziehung kosmischer Einflüsse, für wesentlich identisch erklären, und Skalweit möchte als Ursachen der Variationen möglichst blos meteorologische Faktoren gelten lassen [24], wobei es allerdings unbenommen bleibt, diese letzteren wieder auf die Kraftäusserungen der Himmelskörper zurückzuführen.

Wichtiger vom wissenschaftlichen Standpunkte sind jene Theorieen, welche den Erdmagnetismus mit den elektrischen Aktionen der Himmelskörper in Verbindung bringen. Ziemlich viel Material zum Studium dieser Theorieen hat v. Czerny [26] beigebracht, doch gedenken wir hier dasselbe noch mehrfach zu ergänzen. Einen geistvollen und vielleicht zu wenig beachteten Gedanken findet man in Lamont's Untersuchungen über den Erdstrom (Kap. 1 §. 5). Kritisch, wie immer, lehnt er Lloyd's Schlussfolgerungen ab [27], durch welche die vollständige Uebereinstimmung zwischen den Bewegungen des Erdstromes und dem Gange der erdmagnetischen Variationen erwiesen werden sollte [28] und begnügt sich mit der bis jetzt nicht weiter zu treibenden Erkenntniss, dass der Erdstrom jene Variationen ganz oder theilweise hervorbringe oder dass er vielleicht nur ausnahmsweise — etwa bei'm Erscheinen von Polarlichtern — stärker hervortretende Wirkungen

*) Eine neuerdings durch Perry und Ayrton begründete Auffassung der geomagnetischen Erscheinungen [25] sieht auch von anderen als tellurischen Ursachen ab, ist aber nicht sowohl zur physikalischen Erklärung, als vielmehr zur weiteren mathematischen Durchdringung der Gauss'schen Theorie bestimmt. Die Erde gilt als elektrisirt, ihre Elektricität muss sich, wie bekannt, auf der Oberfläche ansammeln. Die Autoren berechnen das elektromagnetische Potential, welches von der auf der rotirenden Erde mit fortgeführten Elektricität herrührt, und finden dasselbe für einen ausserhalb der Erde gelegenen Punkt gleich $\frac{2}{3} W \cdot E \cdot \rho^{-2} \cdot \sin \vartheta$, woraus sich Resultate, konform den von Gauss erzielten, herleiten lassen. Unsere obige Bezeichnung ward für ρ und ϑ beibehalten, W bedeutet die Winkelgeschwindigkeit der Erde, E die auf deren Gesammtoberfläche vertheilte Elektricitätsmenge.

ausübe. Immerhin seien Beziehungen zwischen dem Erdmagnetismus und den elektrischen Erdströmungen vorhanden, und letztere fänden ihre Erklärung am einfachsten durch die Annahme, dass die Sonne, wie die Planeten, eine permanente Elektricitätsmenge besässe, dass die Erde als eine im Weltraume isolirt schwebende Kugel mit einer Ladung von negativer Elektricität gelte, und dass durch die gegenseitigen Anziehungen auf den einzelnen Himmelskörpern eine elektrische Fluth und Ebbe, ähnlich den Gezeiten des Meeres, zu Stande komme [29].

Im Grossen und Ganzen knüpft Zöllner wieder an Lamont an. Gelegentlich unserer Besprechung der Kometentheoricen ward bereits (I. Band, S. 76 ff.) der elektrischen Hypothese des Leipziger Geophysikers gedacht, welche er in ausführlicher Darlegung [30] gegen die Einwürfe von Zenker vertheidigte; ihm beruht der Erdmagnetismus auf sogenannten Konvektionsströmen. Lamey suchte besonders jene eigenthümliche Periodicität von Fleckenfrequenz und Deklinationsschwankung in ähnlichem Sinne aufzuklären, von welcher in §. 7 des vorigen Kapitels gehandelt wurde; ihm zufolge [31] bietet es einen ganz einfachen Ausweg dar, wenn man eine passatartige Driftströmung vom Aequator zu den Polen sich verbreitend denkt, der dann in grösserer Tiefe ein von den Polen zum Aequator der Sonne gehender Rückstrom entspreche. Ohne so tief in Details von immerhin fraglicher Beweiskraft sich zu verlieren, betrachtet Odstrčil überhaupt die Sonne als einen grossen Magneten, der in dieser seiner Eigenschaft die Erde zwiefach beeinflusse, indem er erstens durch seine Richtkraft direkt auf jede irdische Magnetnadel wirke und zweitens Ströme in den magnetisch erregbaren Massen der Erde inducire [32]. Cornu weist dem allerdings in der Sonnenphotosphäre gasförmig und in tieferen Schichten vermuthlich in konsistenterer Form vorkommenden Eisen die Hauptrolle bei der Erregung des tellurischen Magnetismus zu, und Langberg führt die seiner Zeit — nach Fritz — erwähnten Beziehungen zwischen Sonnendeklination und Magnetdeklination darauf zurück, dass eine Veränderung der magnetischen Axen von Sonne und Erde im Laufe des Jahres zu einer nachweisbaren Verschiedenheit in den vom Sonnenmagnetismus auf der Erde bewirkten Induktionsströmungen den Anlass gebe [33].

Andere Gelehrte wieder erblicken in der Drehung der Sonne um ihre Axe den elektromotorischen Hauptfaktor. So hielt sich Hornstein überzeugt, dass die Aenderungen eines jeden der drei erdmagnetischen Elemente auf eine Periode von 26 1/3 Tagen hinwiesen, und berechnete hieraus sogar die thatsächliche Rotationsdauer unseres Centralkörpers auf 24,55 Tage [34]. Auch Allan Brown hat aus zehnjährigen Beobachtungen eine 26tägige Periode der Oscillationen einer Deklinationsnadel gezogen [35]. Speziell die Umdrehungsaxe der Sonne ist es, auf deren Lage im Raume Quet [36] Gewicht gelegt wissen will; die magnetische Einwirkung der an der Sonnenoberfläche cirkulirenden Ströme soll sich nämlich durch die Aktion eines Hauptkreis-Stromes ersetzen lassen, und die Axe dieses Stromes falle eben mit der Umdrehungsaxe zusammen. Aber auch die Geschwindigkeit der Rotation sei bestimmend für die Periodicität, mit welcher die inducirten Ströme auf der Erde auftreten [37].

§. 4. Die elektrische Fernewirkung der Sonne nach Siemens.

gründlichsten ist diese Theorie von Werner Siemens entwickelt beleuchtet worden [38], indem er sich dabei auf seines Bruders William Schrift „On the conservation of the solar energy" bezog. Das hohe elektrische Potential der Sonne erklärt Letzterer durch die Reibung der den Polargegenden der Sonne aus dem Weltraume zuströmenden Ströme dissociirter Materie. Diese verdichtet sich, verbrennt und wird so von den Polen gegen den Aequator der Sonne gedriftet; dabei reibt sie sich an dem selbst in (Dreh-)Bewegung befindlichen Sonnenkörper, wird elektrisch und in diesem Zustande von der Centrifugalkraft wieder in den Weltraum hinausgeschleudert. Der Erdmagnetismus ist nun nach Werner Siemens vielleicht nur eine elektrodynamische Konsequenz der elektrischen Ladung der Erde; es hat nämlich Rowland unter der Leitung von Helmholtz Experimente angestellt, welche zu zeigen scheinen, dass mechanisch fortbewegte Elektricität sich genau in derselben Weise äussert, wie ein eigentlich elektrischer Strom. Wenn also die Erde mit Elektricität von hinlänglicher spezifischer Dichtigkeit geladen ist, so müssen sich ähnliche magnetische Erscheinungen ergeben, als wenn Ströme die erstere umkreisten (s. Ampère). Die Influenzelektricität wird sich grösstentheils an der Oberfläche der im Gluthzustande befindlichen, also gut leitenden subterranen Massen ansammeln. Durch die Einwirkung der Sonne wird an den dieser direkt zugewandten Erdstellen die elektrische Dichte eine stärkere werden müssen, als an den entgegengesetzt gelegenen Orten; dieser Umstand könne zur Erklärung sowohl der täglichen regelmässigen Schwankungen der magnetischen Elemente, als auch der Lamont'schen Erdströme dienen. Vielleicht sind auch die von Kreil [39] unzweifelhaft erhärteten Relationen zwischen dem Stande des Mondes und den Oscillationen des Erdmagnetismus Rückwirkungen der dem Monde eigenthümlichen Elektricität auf den elektrischen Zustand unseres Wohnkörpers. — Siemens ist weit davon entfernt, seine Hypothese für unanfechtbar zu halten, glaubt aber mit Fug, dass durch sie mindestens ebensoviel geleistet werde, wie durch irgend eine andere.

[1] Gilbert, De magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure physiologia nova, Londini 1600. S. 95. — [2] Favaro, Galileo Galilei e lo studio di Padova, vol. I., Firenze 1883. S. 311. — [3] Halley, On the cause of the change of the variation of the magnetic needle; with an hypothesis of the structure of the internal parts of the earth, Philos. Transact., 1692. S. 563 ff. — [4] Steinhäuser, De magnetismo telluris, sectio I., Vitebergae 1806; sectio II., ibid. 1810. — [5] Steinhäuser, Nähere Bestimmung der Bahn des Planeten im Inneren der Erde, Gilbert's Ann. d. Phys., 27. Band. S. 393 ff. — [6] Ibid. S. 416. — [7] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 6. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1836. S. 1023 ff. — [8] Euler, Recherches sur la déclinaison de l'aiguille aimantée, Mém. de l'ac. royale de Berlin, 1757. S. 179 ff. — [9] Gehler's Phys. Wörterb., 2 Aufl., 6. Band, 3. Abtheil., S. 1039. — [10] Humboldt-Biot, Sur les variations du magnétisme terrestre à différentes latitudes, Journal de physique, Vol. LIX. S. 429 ff. — [11] Mollweide, Theorie der Abweichung und Neigung der Magnetnadel, Gilbert's Ann. d. Phys., 29. Bd. S. 1 ff. S. 251 ff. — [12] Hansteen, Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, 1. Theil, Kristiania 1819. S. 311 ff. — [13] Raulin, Vues générales sur les variations du magnétisme terrestre, Bordeaux 1867; Mém. de la soc. des sc. phys. et nat. de Bordeaux, (2) tome V. S. XIX. — [14] Linder, Sur le magnétisme terrestre. Bordeaux 1869. — [15] Gauss' Werke,

5. Band, Gotha 1869. S. 119 ff. — [16] Green, An essay on the application of mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism, Nottingham 1828. art. 3. — [17] F. Meyer, Vorlesungen über die Theorie der bestimmten Integrale zwischen reellen Grenzen, Leipzig 1871. S. 334 ff. — [18] Erman-Petersen, Die Grundlagen der Gaussischen Theorie und die Erscheinungen des Erdmagnetismus im Jahre 1829, Berlin 1874. — [19] Ibid. S. 29. — [20] Ampère, Théorie des phénomènes électro-dynamiques, uniquement déduite de l'expérience, Paris 1826. S. 199. — [21] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Meteorologie und Klimatologie, Zürich 1880. S. 86. — [22] Gringmuth, Wie erklären sich Erdmagnetismus und Erdbeben? Dresden 1883. S. 9. — [23] Parker, Polar magnetism, Journal of the Amer. Geogr. Society, 1870. S. 70 ff. — [24] Skalweit, Magnetische Beobachtungen in Memel, Königsberg 1879. — [25] Perry-Ayrton, A new theory of terrestrial magnetism, Phil. Mag., (5) Vol. VII. S. 401 ff. — [26] v. Czerny, Die Veränderlichkeit des Klimas und ihre Ursachen, Wien-Pest-Leipzig 1881. S. 9 ff. — [27] Lloyd, On earths currents and their connexion with terrestrial magnetism, Phil. Mag., (4) Vol. XXII. S. 437 ff. — [28] Lamont, Der Erdstrom und der Zusammenhang derselben mit dem Magnetismus der Erde, Leipzig 1862. S. 71 ff. — [29] Ibid. S. 68. — [30] Zöllner, Ueber den Ursprung des Erdmagnetismus und die magnetischen Beziehungen der Weltkörper, Ber. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 1871. S. 479 ff.; Ueber die elektrische und magnetische Fernewirkung der Sonne, ibid. 1872. S. 116 ff. — [31] Lamey, Sur la théorie de la périodicité undécennale des taches du soleil, Compt. rend. de l'ac. franç. d. sc., Vol. LXXXII. S. 1262 ff. — [32] Odstrčil, Zur Erklärung der periodischen Aenderungen des Erdmagnetismus, Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wissensch., M.-ph. Kl., LXIX. S. 860. — [33] v. Czerny, Die Veränderlichkeit etc. S. 33. — [34] Hornstein, Ueber die Abhängigkeit des Erdmagnetismus von der Rotation der Sonne, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 16. Band. S. 448. — [35] v. Czerny, Die Veränderlichkeit etc. S. 12. — [36] Quet, Sur la variation du magnétisme terrestre, Compt. rend. de l'ac. franç. d. sc., Vol. LXXXVI. S. 660 ff.; Action que le soleil exerce sur les fluides magnétiques et électriques de la terre, ibid. S. 808 ff. — [37] Quet, Sur les périodes qui, dans les phénomènes magnétiques, dépendent de la vitesse de la rotation du soleil, ibid. S. 1244 ff. — [38] Wr. Siemens, Ueber die Zulässigkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentiales und dessen Bedeutung zur Erklärung terrestrischer Phänomene, Sitzungsber. d. k. pr. Ak. d. Wissensch., Märzheft 1883. — [39] Kreil, Der Einfluss des Mondes auf die horizontale Komponente der magnetischen Erdkraft, Denkschr. d. k. k. Ak. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 5. Band. S. 35 ff.

Kapitel IV.

Polarlichter.

§. 1. **Nord- und Südlicht in der äusseren Erscheinung.** Als einen naturgemässen Nachtrag zu der Lehre vom Erdmagnetismus müssen wir dem heutigen — in §. 6 dieses Kapitels schärfer präcisirten — Stande unserer Kenntnisse zufolge die Lehre von den Polarlichtern bezeichnen. Ein Forscher, der sich Jahrzehnte lang mit dem Studium dieser prachtvollen Erscheinungen beschäftigte, Fritz in Zürich, hat vor einigen Jahren eine systematische Darstellung alles Dessen geliefert, was wir überhaupt von jenen wissen, und wenn auch durch grossartige Leistungen der allerneuesten Zeit selbst in diesem Buche [1] Manches überholt worden ist, so eignet es sich doch darum nicht minder zu einer Grundlage für weitere Studien.

Aus dem klassischen Alterthum fehlen Nachrichten über das so enge an höhere Breiten geknüpfte Phänomen begreiflicherweise ganz; es müssten denn gewisse unbestimmte Nachrichten bei Aristoteles, Plinius und Tacitus in diesem Sinne gedeutet werden [2]. Die skandinavischen Saga's dagegen wissen allerdings davon zu berichten, und in dem norwegischen „Königsspiegel" aus dem XII. Jahrhundert wird eine ebenso treue als schöne Beschreibung geliefert [3]. Ob manche dem XV. Säkulum entstammende Angaben über himmlische Feuerzeichen, wie sie z. B. in Luther's Schriften sich finden, wirklich auf Nordlichter zu beziehen seien, lassen wir unentschieden; einzelnes hierher Gehörige glauben wir zuversichtlich der meteorologischen Optik überweisen und in dem dieser Disciplin eingeräumten Kapitel behandeln zu müssen. Ganz unzweideutig ist aber die Schilderung, welche Konrad Gessner in einer pseudonym herausgegebenen Schrift von 1561 entwirft [4]; es sei, sagt er, ein grosses thurmartiges Feuer am 6. Januar jenes Jahres im Nordosten aufgestiegen und zwar in höheren Luftschichten, so dass es den Bewegungen der Luft folgen konnte. Gleich nach Untergang des Mondes seien verschiedene gefärbte Lichtstrahlen, wie bei einem Regenbogen, nach allen Seiten ausgefahren, um am Himmel selbst nach und nach in Roth überzugehen. Das habe man in der ganzen Schweiz gesehen. Von da an werden die Aufzeichnungen zahlreicher; von 1560—1700 weiss Hellmann aus der Feder deutscher Autoren allein 13, aus der ersten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts aber bereits 53 Veröffentlichungen, theils blos referirender, theils auch schon theoretischer Natur anzuführen [5]. Bestimmte Bezeichnungen fehlten natürlich zunächst, die Titulaturen schwirren noch wunderlich durcheinander, wie denn ein gewisser Eichler um 1603 ganz passend von einem „nächtlichen Regenbogen" spricht [6]. Alsdann findet man mehr und mehr Nachdruck auf die Thatsache gelegt, dass das Licht sich im Norden zeige, Gassendi redete 1621 von einer „Aurora borealis", und ein deutscher Physiker, Liebknecht, scheint Anno 1710 zuerst den Namen „lucula borealis" gebraucht zu haben [7]. Der jüngere Kirch übersetzte diess mit „Nordschein" [8], und dieser Ausdruck hat sich bis auf den heutigen Tag neben dem allerdings üblicheren „Nordlicht" zu erhalten gewusst, während die „Aurora" sowohl in der lateinischen Terminologie, als auch im Englischen und in den romanischen Sprachen sich zu behaupten verstand. Das vierzehnte Kapitel des Fritz'schen Werkes handelt einlässlich vom Nordlicht im linguistischen Sinne. Zur allgemeinen Anerkennung ward das Nordlicht gebracht durch Mairan's uns von früher her (I. Band, S. 85) bekanntes Fundamentalwerk [9] über diese Materie*). Der Name „Südlicht" fand sich ganz naturgemäss dazu, als Cook und Johann Reinhold Forster die ihnen bekannten Lichterscheinungen auch am Südhimmel wahr-

*) Die zweite Auflage desselben stützt sich, wie Hellmann (a. a. O.) unserer Generation in das Gedächtniss zurückruft, wesentlich auf Beobachtungsmaterial, welches von deutschem Fleisse zusammengebracht war. Verwerthet sind nämlich: „Observationes recentiores aurorae borealis, quarum priores a Gottfriedo Kirch, reliquae vero a Christfriedo Kirch sunt observatae; observationes aliquot antiquae aurorae borealis ad supplementum historiae aurorae borealis, collectae a Chr. Kirch."

nahmen [10]. Zur zusammenfassenden Bezeichnung bot sich von selbst das Wort „Polarlicht“ dar.

Verweilen wir nunmehr einen Augenblick bei dem rein beschreibenden Momente. Während der Jahre 1823—31 beobachtete der berühmte Astronom Argelander zu Abo nicht weniger als 162 Nordlichter und legte die Gesammteindrücke, welche ihm aus diesen Beobachtungen erwachsen waren, in einem 1834 zu Königsberg gehaltenen Vortrage nieder, welchen Clausius als eine besonders typische Schilderung aller in Betracht kommenden Vorgänge in seine umfassende Monographie der atmosphärischen Lichtprocesse aufnahm [11]. Noch charakteristischer aber erscheint uns ein in Worten gezeichnetes Bild dieser Erscheinung, welches v. Wohlgemuth, der Dirigent der österreichischen Polarexpedition, entworfen hat, und welches in seinen schwungvollen Zügen uns so sehr dazu angethan erscheint, die doch dem grössten Theile unserer Leser abgehende Autopsie, soweit diess überhaupt möglich ist, zu ersetzen, dass wir trotz ihrer Ausführlichkeit diese Beschreibung vollinhaltlich wiederzugeben uns entschlossen.

v. Wohlgemuth äussert sich also [12], wie folgt. „Das erste Stadium kennzeichnet sich durch das Entstehen eines dunstförmigen Streifens, dessen nach West und Ost verlaufende Enden scheinbar am Horizonte aufruhen und gewissermassen die Drehungspunkte bei'm Vorwärtsschreiten bilden. Im zweiten Momente hat der Lichtstreifen an Intensität gewonnen und ist gegen das Zenit hinaufgerückt. Andere Bögen folgen; die Lichterscheinung nimmt eine strahlenförmige Anordnung an; die Bänder haben besonders gegen abwärts ziemlich scharfe Begrenzung; es entsteht eine wallende Fortpflanzung der hellsten Lichtstellen, etwa in der Weise, wie sie sich in den Geissler-Röhren beobachten lässt. Trotz aller Schwankungen und Ortsveränderungen der Bandfragmente bleiben dennoch alle Strahlen gegen das magnetische Zenit koncentrirt, haben somit eine der Inklinationsnadel parallele Richtung. Das nun folgende weiter fortgeschrittene Stadium lässt erkennen, dass es zur Kronenbildung kommen werde: die Bänder haben sich in Osten und Westen angeschlossen, bilden somit rings um das Zenit laufende Ovale; die nördlichen Bandstücke sind entweder von Norden heraufgestiegen oder an irgend einer Stelle des Nordfirmamentes plötzlich entstanden. Um das magnetische Zenit, somit im Mittelfelde, entsteht die Wurzel eines Strahlenfächers, der zumeist gegen jene Seite sich ausbreitet, von woher die Erscheinung ihren Anfang nahm, hier somit gegen Süden. Hierauf folgt die entwickelte Nordlichtkrone. Gegen die Nordseite hin hat sich, vom magnetischen Zenit aus, ein zweiter Strahlenwurf ausgebreitet, und rascher, als es erzählt werden kann, ergiesst sich über das Mittelfeld ein Lichtmeer, für das ich vergebens einen bezeichnenden Ausdruck suche, wenn es mir nicht etwa gestattet ist, dafür das Wort des Dichterkomponisten ‚Wabernde Lohe‘ zu verwenden. Der Lichteffekt kommt entzündetem Alkohol, der wie von einem Luftzuge gegen die Ränder des flammenden Feldes getrieben wird, am nächsten. Die züngelnden Bewegungen sind aber rascher, als die einer Flamme; die Färbung des Lichtfeldes ist hellweisslich mit zeitweilig raschem Umspringen in alle Töne bis zum Kirschroth und zu stellenweiser Schattirung in's Bläuliche. Auch die Helligkeit und die Farben der Bandgarnirungen sind intensiver

geworden; lichtgrün am Oberrande, weiss in der Mitte und roth am Unterrande und nach jener Seite hin, nach welcher eben das Lichtwallen auftritt. Je mehr sich die allseitig in die Höhe rückenden Bänder dem Zenit nähern, desto rascher sind die Zuckungen und die schlangenartigen Wellenbewegungen, die sich etwa mit dem Umherschlackern der schweren Bordure eines rasch in die Höhe gezogenen Theatervorhanges vergleichen liessen. Ein weiteres Stadium ist das Verblassen der Nordlichtkrone; das Mittelfeld geht in einen formlosen, ostwestlich gerichteten Lichtfleck über, der Anfangs noch die röthliche, später nur die Farbe des gewöhnlichen Nordlichtdunstes zeigt; die Helligkeit ist jedoch oft so nachhaltig, dass man auch dann noch Zeitungsdruck zu lesen vermag. Die Draperieen haben sich entweder auf ihrem Wege gegen das Zenit in das Mittelfeld ergossen oder sind zu lichtschwachen Dunstbändern abgeblasst, die allmählig verschwinden, um anderen Formen Platz zu machen. Das beschriebene Phänomen vollzieht sich in der Zeit von 1 bis 10 Minuten; die volle Entwickelung der Krone bleibt oft nur für Sekunden, selten eine, höchstens drei Minuten sichtbar.“ Das Aufflammen solcher Kronen kann man nach unserer Quelle auf Jan Mayen in Einer Nacht neun-, auch zehnmal beobachten.

Analysirend können wir aus diesem Berichte diejenigen spezifischen Eigenarten der Polarlichterscheinungen entnehmen, welche Fritz [13] als typisch hingestellt hat. Vor Allem sind zu bemerken der Lichtbogen mit dem darunter befindlichen Segment, die von ersterem emporschiessenden Strahlen. Diess zusammengenommen liefert das strahlende Nordlicht, welches in v. Wohlgemuth's Referat mehr nur als vorübergehende Episode auftritt, in anderen Regionen jedoch die Regel bildet, dessen Strahlen-Konvergenzpunkt als Korona oder Nordlichtkrone bekannt ist. Weiter sind zu unterscheiden die Bänder, deren flatternde Bewegung oben so treffend geschildert ist, die Fäden, feine, fächerartig gruppirte Strahlen, und die über das ganze von Licht inundirte Gebiet des Himmelsgewölbes sich fortpflanzenden Wellen; durch Vereinigung all' dieser Elemente kann das an sich seltenere und — vgl. §. 3 — an gewisse geographische Entstehungsbedingungen gebundene Draperie- oder Mantelnordlicht sich bilden. Eine minder häufige Abart, die sich durch eine fensterförmige Unterbrechung des Segmentes und durch spärliches Strahlenschiessen an den Fusspunkten auszeichnet, ist von J. Müller [14] darzustellen versucht worden. Stets vorhanden ist das wenig differentiirte Nordlichtgewölke, das schliesslich in den durch seinen Namen zugleich seinem Wesen nach bestimmten Nordlichtdunst übergeht.

Eigenthümlich und seiner Erklärung nach noch kaum recht in Angriff genommen ist der Umstand, dass die Nordlicht-Wolken und -Strahlen nicht blos völlig durchlässig für das Licht der Sterne sind, sondern sogar das Funkeln jener zu verstärken scheinen. Nachdem bereits im vorigen Jahrhundert Ussher und Saussure Wahrnehmungen dieser Art gemacht hatten [15], nachdem Necker und Forbes sogar behauptet hatten, dass die Sterne an Schottlands Himmel nur dann wirklich funkelten, wenn gerade ein Polarlicht sichtbar sei, nahm Montigny [16] eine gründliche Prüfung der Frage mit seinem Scintillometer vor. Seine Ergebnisse drängt er zusammen in den Satz:

„A chacune de ses coincidences, l'intensité de la scintillation fut beaucoup plus forte, au moment de l'aurore, que l'intensité mésurée la veille ou le lendemain dans les mêmes conditions atmosphériques, mais en dehors de l'influence de ce phénomène."

Sehr wenig Sicheres weiss man bezüglich der Schallerscheinungen, welche nach Einigen die Polarlichter begleiten sollen. Fritz behandelt die alte Streitfrage in einem besonderen Kapitel seines Werkes [17]. Fast durchweg haben die Zeugen, auf welche man sich zu berufen pflegt, ihre Kenntniss nur vom Hörensagen, authentische Berichte zu Gunsten dessen, was man Polarlichtgeräusch nennt, fehlen fast gänzlich. Wir theilen mit Humboldt und Fritz [18] die Ansicht, dass die Polarlichter in dem Maasse „schweigsamer" würden, als die Genauigkeit der Beobachtung zunehme, d. h. in dem Maasse, in welchem subjektiven Täuschungen entgegengearbeitet wird*).

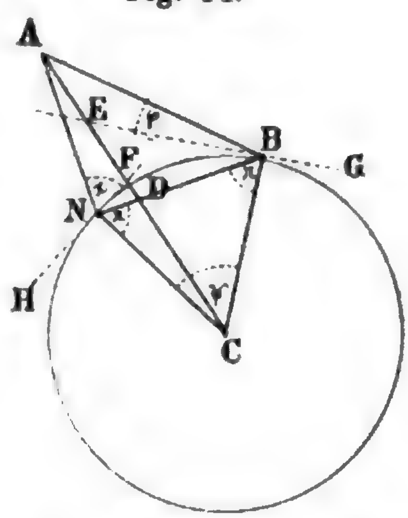
Noch für lange Zeit sind uns genaue Aufzeichnungen über das Thatsächliche der schönen und merkwürdigen Lichterscheinung nothwendiger, als theoretische Spekulationen. Eine sehr gute Anleitung zum Beobachten verdankt man E. Weiss [19]; dieselbe richtet sich nicht etwa blos an den mit guten Instrumenten versehenen Forschungsreisenden, sondern an Jeden, der mit guten Sehorganen Empfänglichkeit für die Wunder des Himmels verbindet. Weiss konstatirt (a. a. O.): „Selbst das blosse Registriren des Auftretens eines Polarlichtes, ohne jede weitere Beobachtung desselben, hat Werth, namentlich auf der südlichen Halbkugel, da es zu Untersuchungen über die Korrespondenz zwischen Nord- und Südlichtern verwendet werden kann." Es wäre sehr wünschenswerth, sicher zu wissen, ob wirklich mit jedem Aufleuchten eines Polarlichtes in der Umgebung des Nordpoles auch ein solches in der Umgebung des Südpoles verbunden ist. — Die skandinavischen Physiker gehen neuerdings mit der Etablirung regelrechter Beobachtungsstationen vor; Lemström hat eine solche auf dem Berge Orantunturi in Finnland, Tromhold die seinige zuerst auf dem Kautokeino in Finnmarken begründet. Später ersah sich der Letztgenannte das nördliche Island zum Versuchsfelde. Wir verweisen an dieser Stelle auf Ph. Müller's Beschreibung dieser Stationen [20], behalten uns aber vor, in §. 8 auf dieselben und einige der von ihnen bereits erlangten Errungenschaften zurückzukommen.

§. 2. **Die Höhe der Polarlichter.** C. v. Wolf und ein gewisser Kulmus scheinen, einem von dem letzteren veröffentlichten Sendschreiben [21] nach zu schliessen, die Ersten gewesen zu sein, welche die absolute Erhebung gewisser charakteristischer Bestandtheile des Nordlichtes zu messen unternahmen. Kulmus meinte ganz richtig, man solle „die einzelnen Theile des Bogens ad certas stellas fixas referiren" und dadurch die Höhe ermitteln. Eingehend beschäftigt sich natürlich Mairan [22] mit dem Problem der Höhenbestimmung. Wir

*) Beiläufig wollen wir doch erwähnen, dass in der gleich nachher zu besprechenden Arbeit von Kulmus über das grosse Nordlicht vom 17. März 1716 u. a. auch die Angabe zu finden ist, jenes Phänomen habe sehr lebhafte Schallerscheinungen nach sich gezogen; in der Danziger Gegend hätten die Bauern das Geräusch der ausfahrenden Strahlen zum Anlass genommen, die Gewitterglocken zu läuten.

ziehen es jedoch vor, ausführlicher bei einem sorgfältig durchgerechneten Beispiele stehen zu bleiben, welches J. E. Silberschlag beibringt, denn in der Hauptsache pflegt man sich auch heute noch ganz ebenso zu verhalten, wie es dieser Gelehrte (vgl. I. Band, S. 87) thut [23]. Sei C (Fig. 14) der Erdmittelpunkt, B bedeute die Stadt Berlin, N Neapel. Eine Nordlichtkrone A war an beiden Orten gleichzeitig gesehen worden, und man hatte im nämlichen Zeitmomente die Winkel ANF = 20°, ABE = 29° gemessen, welche die Gesichtslinien mit den Horizonten FH und EG beider Plätze bildeten. Diese Winkel werden resp. gleich χ und φ, der Erdradius von 860 Meilen wird gleich r, der Centriwinkel BCN wird gleich ψ, jeder der beiden gleichen Winkel NBC und CNB wird gleich π gesetzt. Es ist ψ bekannt $= 11°41'$, $\sphericalangle NBA = 90° + \varphi - \pi = 34°35'30''$, $\sphericalangle ANB = 90° + \chi - \pi = 25°50'30''$ und $NB = 2r \sin\frac{\psi}{2}$. Die Verbindungslinie AC schneidet die Erdkugel in D; AD ist die gesuchte kürzeste Entfernung der Korona A von der Erdoberfläche. Zunächst berechnet nun Silberschlag AB aus der Proportion

Fig. 14.



$$AB : NB = \sin(90° + \chi - \pi) : \sin(180° - \varphi - \chi - \psi).$$

Dann aber ist $\sphericalangle BAC + \sphericalangle ACB = 90° - \varphi$; um auch die Differenz dieser beiden Winkel und damit diese selbst zu bekommen, benützt man die weitere Proportion

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}(\sphericalangle ACB - \sphericalangle BAC) : \operatorname{tang}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) = (AB - r) : (AB + r).$$

Endlich ist

$$AD = AC - r = r\frac{\cos\varphi}{\sin(\sphericalangle BAC)} - r = \frac{2r}{\sin(\sphericalangle BAC)} \times \cos\left(45° - \frac{\varphi - \sphericalangle BAC}{2}\right)\sin\left(45° - \frac{\varphi + \sphericalangle BAC}{2}\right).$$

Vermittelst dieser Formel, die bei ihm allerdings weit weniger einfach aussieht, berechnet Silberschlag die Höhe AD auf 46 geographische Meilen, und dieser Werth würde ziemliches Vertrauen verdienen, wenn die Beobachtungen gleichwerthig mit dem theoretischen Verfahren gewesen wären. Letzteres ist freilich zu bezweifeln, denn der Figur nach müsste ja die Lichtkrone südlich von Berlin gesehen worden sein *).

Bergman bestimmte um dieselbe Zeit mit Zugrundelegung der von Gassendi, Cramer, Celsius, Gissler, Godin, Hell, Krafft, Mairan und von ihm selber gemachten Beobachtungen die Durchschnittshöhe des obersten Nordlichtbogens auf 104 Meilen gleich

*) Allerdings kommen in der Literatur auch Notizen vor, welche darauf schliessen lassen, dass man an Orten auf der Nordhalbkugel nordlichtartige Erscheinungen nach Süden hin gesehen habe. Hellmann berichtet z. B. [24], dass ein gewisser Helmuth 1777 im „Braunschweiger Anzeiger" die „Beobachtung eines im Süden leuchtenden Bogens" beschrieben habe. Natürlich ist hier nur von mittleren Breiten die Rede.

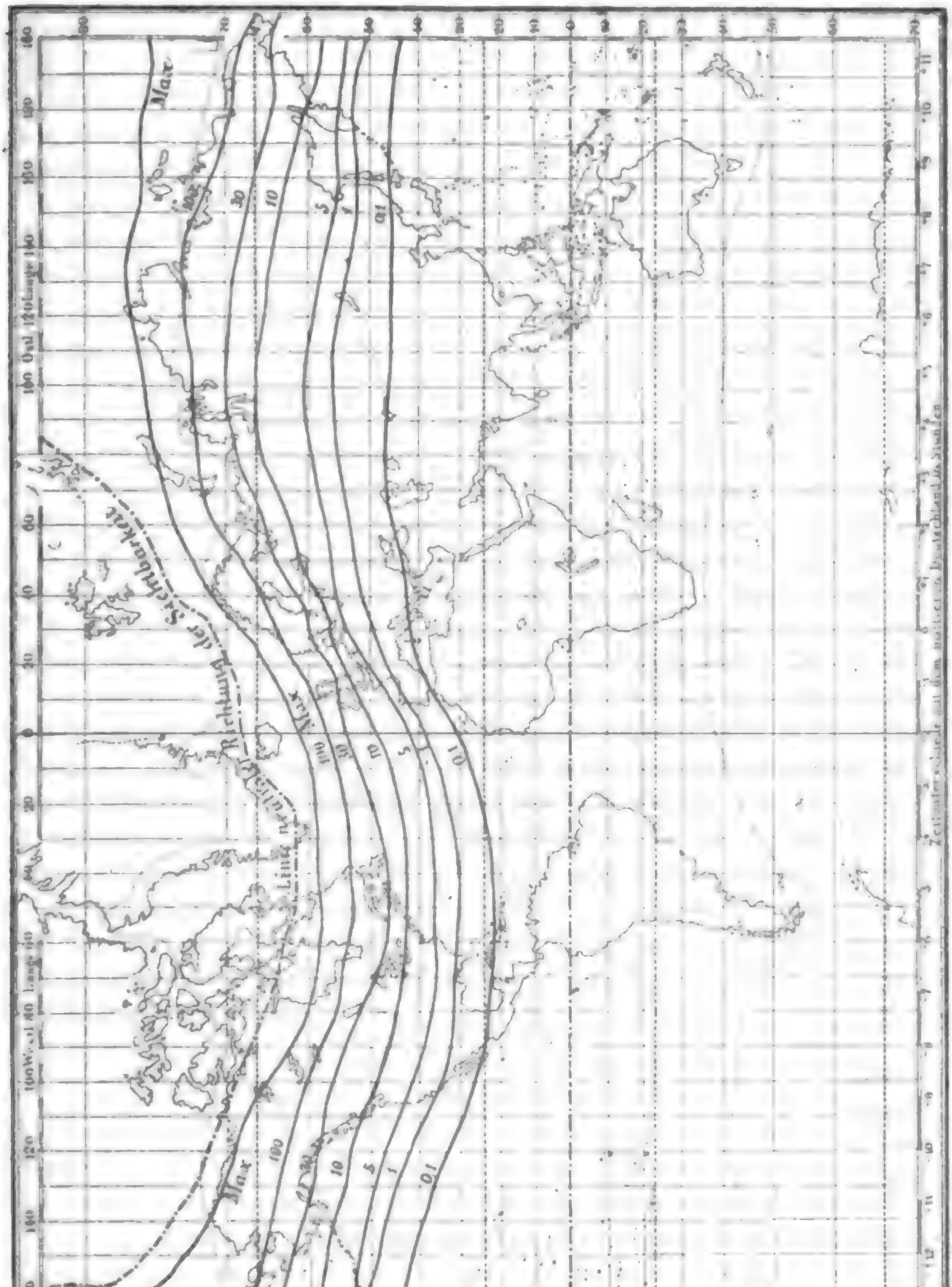
77 Myriametern [25]. Die Messungen sind, selbst wenn man sich nach den verbesserten Methoden von Galle, Jesse u. A. richtet, stets schwierig und mit Fehlern behaftet; wie ungemein stark die Wirkung der Augentäuschung ist, mag daraus hervorgehen, dass wissenschaftlich gebildete Mitglieder der deutschen Nordpolexpedition (1869—70) die Nordlichtstrahlen mit den Händen greifen zu können wähnten [26]. Es mag ja sein, dass gewisse Lichtnebel, die Hildebrandson als sehr nahe Gegenstände erkannte, eine Art von Uebergang zum Nordlicht selber bilden [27], aber im Allgemeinen muss der Heerd der Erscheinung in eine ziemlich grosse Entfernung verlegt werden. Fritz kann nach sorgfältiger Sichtung seines reichen Materiales nicht umhin [28], den seiner Unbestimmtheit halber freilich wenig befriedigenden Schlusssatz zu formuliren: „Die Höhen über der Erdoberfläche, in welchen sich die Polarlichter entwickeln, sind sehr verschieden, höchst wahrscheinlich aber lange nicht so bedeutend, als manche auf Messungen beruhende Beobachtungen ergaben, und die Höhen dieser Regionen nehmen, mindestens für die unteren Grenzen, mit den Breiten ab, das einzig Bestimmbare hinsichtlich der Höhe, in welcher sich das Polarlicht entfaltet."

Wenn mit diesem Ergebnisse unsere unmittelbar vorhergehende Aussage in einem gewissen Widerspruche zu stehen scheint, so liegt diess daran, dass wir die Messungen von Flögel [29] für verlässiger halten, als diess anscheinend von Fritz geschieht. Nach Flögel aber käme das Nordlicht stets zu Stande in Regionen, welche man jenseits unserer Atmosphäre zu suchen hätte, oder welche doch nur nah an deren oberste Schichten grenzten. Die Höhe der Strahlenbasis soll im Mittel 15 bis 19 Myriameter, im Maximum 30 Myriameter betragen, während die Strahlenspitzen 50 bis 75 solcher Maasseinheiten sich über den Erdboden erheben können. Paulsen bestätigt neuestens [30] die Resultate von Fritz zum Theile. Innerhalb der gemässigten Zone seien die Polarlichter auf den obersten, dünnsten Theil unserer Lufthülle beschränkt, und das Höhenminimum müsse sehr gross angesetzt werden; je weiter man aber gegen den Pol fortschreite, um so tiefer schienen die Polarlichter herabzusteigen, ja in Grönland habe man sicherlich solche schon diesseits der Wolkendecke gesehen. Aus 32 Höhenmessungen findet Paulsen, dass die Höhe des unteren Randes zwischen 0,061 und 6,786 Myriametern schwanke. Vielleicht verschafft uns Jesse's Theorie vom oscillirenden Magnetpol (Astr. Nachr. Nr. 2496) genauere Bestimmungen.

§. 3. **Häufigkeit und Sichtbarkeitsgrenzen.** Dass die Häufigkeit der Sichtbarkeit von Polarlichtern von der geographischen Lage eines bestimmten Ortes abhängig sei, musste sich bald herausstellen. Fritz verbindet alle Punkte der Erdoberfläche, für welche die Sichtbarkeit gleich häufig ist, durch die Isochasmen [31], deren Verlauf er in seinem Buche sehr detaillirt auseinandersetzt. Jene Kurve, der alle Orte angehören, welche durchschnittlich einmal im Jahre ein Polarlicht zu erblicken hoffen dürfen, ist die Isochasme 1, und damit ist auch der Begriff der Isochasme n gegeben. Fig. 15 stellt uns den Verlauf der Nord-Isochasmen $^1/_{10}$, 1, 5, 10, 30, 100 vor Augen, für die Süd-Isochasmen lässt sich eine Karte zur Zeit noch kaum zeichnen [32]

Für Nordamerika war Fritz erst später in der Lage, sein Isochasmen-Diagramm ausreichend zu vervollständigen; dabei gelangte er u. a. zu folgender Bestimmung [33]: „Die Isochasme grösster Häufig-

Fig. 15.



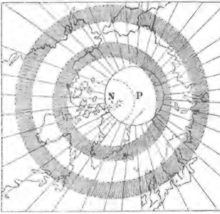
Isochasmen.

keit gelangt, von der sibirischen Küste kommend, bei dem 70. Breitengrade in den amerikanischen Kontinent, schneidet den grossen Bärensee, die Hudsonsbay unter dem 60. Breitengrade, zieht südlich von Grönland

und Island vorbei und tangirt Europa bei'm Nordkap." Diese neuesten Ergebnisse sind in unserer Zeichnung bereits mitberücksichtigt.

Neuerdings hat Nordenskiöld, als er auf der Vega im Eismeere unweit der Beringsstrasse überwinterte, zahlreiche Beobachtungen angestellt und auf diese schliesslich ein System begründet, durch welches Das, was bereits Fritz ermittelt hatte, vielfach bestätigt, aber auch vertieft und im Einzelnen modificirt wird [34]. Wir verweisen auf Fig. 16, worin P den Nordpol, N aber den — vom magnetischen Pole nicht weit abliegenden — Nordenskiöld'schen Punkt vorstellt, dessen Lage eben für die geographische Vertheilung der verschiedenen Nordlichtformen charakteristisch ist. Um N als Mittelpunkt sind fünf concentrische (gestrichelte) Kreise beschrieben, welche fünf verschiedene Zonen gegen einander abgrenzen. Die äusserste (schraffirte) Zone ist der Tummelplatz des schönen Draperielichtes, in

Fig. 16.



dem nächsten (weiss gelassenen) Kreisringe treten, während ersteres abnimmt, bereits die gewöhnlichen strahlenschiessenden Nordlichter auf. Im dritten (schraffirten) Gürtel ist der Nordlichtbogen dem Zenit des Beschauers näher gerückt und hat dadurch an seiner charakteristischen Gestalt verloren. Wieder weiter nach innen zu, also in den Umgebungen des Smithsundes und der nordwestlichen Durchfahrt, ist der Nordlichtbogen die gewöhnliche Erscheinung. Aprioristisch wäre nach all' dem anzunehmen, dass im centralen Kreise, da erfahrungsgemäss Strahlen nach innen zu nur spärlich ausgesandt werden, die Nordlichter selten sein und gegebenen Falles sich nur durch einen unbestimmten Lichtschein am Horizont verrathen müssen. In jene höchsten Breiten sind nun freilich erst wenige Forscher eingedrungen, doch bestätigen die Reiseerinnerungen eines Parry und eines Nares recht gut die theoretischen Vorausbestimmungen Nordenskiöld's.

§. 4. **Physikalische Analyse der Lichterscheinungen.** Vom Standpunkte der Optik aus kommen bei jeder Lichterscheinung vornämlich

vier Dinge in Betracht: die Farbe, die Intensität, die Polarisationsverhältnisse und das Spektrum. Sehen wir zu, wie in unserem Falle die Betrachtung dieser vier Eigenschaften sich gestaltet.

Dass das ungemein rasch wechselnde Farbenspiel der Draperieen und Strahlen selbst mit dem Auge nur schwer zu verfolgen ist, der Kontrole durch instrumentale Beobachtung und Messung aber so gut wie gänzlich sich entziehen muss, wissen wir aus §. 1. Im Allgemeinen ist der Häufigkeitsgrad des Vorkommens einer bestimmten Farbe deren Brechungsexponenten ungefähr umgekehrt proportional; die gering brechbaren Strahlen überwiegen bedeutend die stärker brechbaren, und Violett begegnet uns nur im Nordlichtdunste [35]. Die Intensität der Polarlichter übertrifft nur in seltenen Ausnahmefällen die Leuchtkraft des Vollmondes [36]. Die bisherigen Vergleiche unserer Lichterscheinung mit anderen Lichtquellen hinken alle ein wenig; vielleicht am ersten lässt sich dieselbe zu leuchtendem Phosphor in Parallele stellen, und neuerdings scheinen die intermittirenden Lichtwallungen in den Geissler'schen Röhren die vergleichsweise beste Analogie darzubieten [37]. Polarisirt scheint nach Flögel und Venable das Nordlicht nicht zu sein, vielmehr dürften die schwachen Anzeichen, welche Arago einmal bemerkt zu haben glaubte, einer benachbarten Wolke entsprungen sein, welche die ihr zugesandten Polarlichtstrahlen reflektirte [38].

Die Spektralbeobachtungen sind in neuerer Zeit mit grosser Energie in Angriff genommen worden. Angström, dessen Name hier in erster Linie genannt werden muss, behauptet [39], dass das Nordlichtspektrum sich aus zwei verschiedenen Spektren zusammensetze. Das eine derselben rühre her von dem gelben Lichtscheine, das andere, aus lichtschwachen Streifen und Banden sich zusammensetzend, trete nur bei besonders lichtkräftigen Phänomenen hervor. Bestimmte Koincidenzen mit den Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspektrums nachzuweisen, sei schwierig, doch stimme der violette Theil des sekundären Spektrums gut überein mit dem Luftspektrum, und auch im Gelbgrün komme eine gemeinsame Linie vor, die man sich durch Fluorescenz entstanden denken könne. Diese Linie scheint, wie schon früher erwähnt ist (I. Band, S. 88), sowohl dem Zodiakallichte, wie auch dem diffusen Himmelslichte zugeschrieben werden zu müssen [40]. Alexander Herschel [41] und Capron [42] knüpfen ihrerseits an Angström an. Letzterer ist, wie wir wissen, geneigt, im Nordlichtspektrum nur eine Abart jenes Spektrums zu erkennen, welche der negative Pol einer mit Luft gefüllten Geissler-Röhre liefert, aber Capron hält dafür, dass aus der Uebereinstimmung zweier isolirter Bestandtheile noch nicht ein so weitgehender Schluss gezogen werden dürfe. Nur in Einem Punkte stellt er sich gänzlich auf Angström's Seite, darin nämlich, dass die gelbgrüne Hauptlinie von Fluorescenz oder vielleicht auch von Phosphorescenz herrühre. Lemström will die zwei Spektra seines skandinavischen Landsmannes sogar noch um ein drittes vermehrt wissen [43]. Spektrum I enthält ihm zu Folge die gelbe Linie und die übrigen Linien bis hin zu F, die freilich sehr oft sich ganz und gar verwischen und dann nur die Linie 5569 intensiver hervortreten lassen*); Spektrum II enthält die rothe Linie, Spektrum III

*) Bekanntlich sind die Physiker aller Nationen dahin übereingekommen,

ist durch die violetten Banden ausgezeichnet. Nach Browning ähneln die Novembermeteore, spektralanalytisch untersucht, vielfach den Polarlichtern, wogegen die Hoffnung, diese in Beziehung zu den bei totalen Finsternissen auftretenden Lichtkränzen der Sonne setzen zu können, aufgegeben werden zu müssen scheint [44].

§. 5. **Periodicität.** Was wir von dem periodischen Verhalten der Polarlichter wissen, verdanken wir zum weitaus überwiegenden Theile den rastlosen Bemühungen von Fritz, der zum Behuf des Nachweises einen vollständigen Katalog aller jemals registrirten Lichtphänomene dieser Art ausarbeitete [45], aber auch in seinem Lehrbuche dieses Kapitel [46] mit sichtlicher Vorliebe behandelte. Allerdings hatten, wie an jenem Orte gezeigt wird, auch ältere Gelehrte, wie Mairan, Wargentin, Bergman, Höslin, Pilgram, Chr. H. Pfaff [47], auf das Vorhandensein von Perioden — der letztere auf eine solche von etwa 100 Jahren — hingewiesen, und der Amerikaner Olmsted hatte mit besseren Mitteln eine Erscheinungsperiode von 65 Jahren — 25 Ruhe- und 40 Aktionsjahren — als wahrscheinlich zu erkennen geglaubt [48]*). Fritz aber hielt zuerst die verschiedenen Arten der Periodicität richtig aus einander.

Wir haben nämlich zu scheiden eine tägliche, jährliche und säkuläre Periode, obwohl dieses letztere Wort hier nicht in seinem strengsten Sinne genommen werden darf. Die tägliche Nordlichtperiode weist Ein Maximum auf, welches für die meisten Gegenden, zumal für die den mittleren Breiten angehörigen, nahe um 10 Uhr eintritt [50]. Die jährliche Periode ist, wenn man die innersten Zonen der Nordenskiöld'schen Eintheilung (s. o. §. 3) ausnimmt, durch zwei Maxima und Minima charakterisirt; im Uebrigen „zeigt sich das Polarlicht für die ganze Erde dann am häufigsten, wenn dieser Planet sich von einem Nachtgleichenpunkte durch das Perihel zu dem anderen bewegt“ [51]. Endlich ist für das Polarlicht ebenso jene $11\frac{1}{9}$jährige Periode vorhanden, welche wir für Sonnenflecke und erdmagnetische Variationen bereits kennen gelernt haben (s. o. Kap. II, §. 8), und dann ist natürlich der Schluss nicht abzuweisen, dass auch allfallsige längere Perioden der Fleckenfrequenz (I. Band, S. 65) sich in diesem Verhältnisse offenbaren würden. Loomis' diesen Parallelismus zur deutlichen Anschauung bringende Tabelle [52], bei deren Konstruktion freilich die von Fritz herrührenden Angaben in einer den guten literarischen Gepflogenheiten wenig entsprechenden Weise ausgenützt worden sind [53], sei hier wiedergegeben:

---

die Linien des Spektrums mit einer fortlaufenden und gleichmässigen Numerirung zu versehen: die Hauptlinien werden durch grosse und kleine lateinische Buchstaben bezeichnet, und im Uebrigen zählt man vom langwelligen Ende ab dekadisch fort.

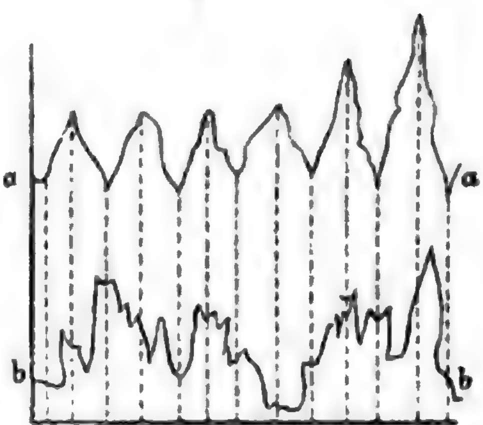
*) Es ist auffallend, dass Fritz in seiner Aufzählung einer überaus reichhaltigen Literatur ein Erzeugniss unterdrückt, welches für seine Zeit vollste Beachtung verdiente, nämlich Hällström's Untersuchungen über die monatliche Wiederkehr der Polarlichter im südlichen Finnland. Den Tag A eines Monates n, an welchem das Aufleuchten eines Nordlichtes mit relativ grösster Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, findet derselbe mit Zugrundelegung der Bessel'schen Formel (vgl. Kap. II, §. 8 der nächsten Abtheilung) gegeben durch die Relation [49]

$$A = 8^d{,}33 + 5^d{,}403 \sin(n \cdot 30^\circ + 99^\circ 42') + 4^d{,}968 \sin(n \cdot 60^\circ + 285^\circ 42') + 0^d{,}832 \sin(n \cdot 90^\circ + 211^\circ 47').$$

Jahr mit einem Maximum von			Jahr mit einem Minimum von		
Sonnenflecken	Nordlichtern	Magn. Dekl.	Sonnenflecken	Nordlichtern	Magn. Dekl.
1778	1778	1777	1784	1784	1784
1788,5	1787,5	1787	1798	1798	1799,5
1804	1804,5	1803	1810	1811	. . . .
1816,5	1818	1817,5	1823	1823	1823,5
1829,5	1830	1829	1833,5	1834,5	. . . .
1837	1840	1838	1843,5	1843,5	1844
1848,5	1850,5	1848,5	1856	1856	1856
1860	1859,5	1859,5	1867	1867	1867
1870	1870,5	1870,5			

Ohne Kommentar ersieht man, dass die zeitliche Uebereinstimmung der Maxima und Minima aller drei Erscheinungsklassen keine zufällige sein kann; insbesondere die Minima stimmen um so besser, auf je zahlreichere und schäfere Beobachtungen sich ihre Berechnung gründen konnte. Fig. 17 lässt (nach Fritz) die Gleichförmigkeit im Gange der Wolf'schen Relativzahlen und der auf ähnliche Weise ermittelten Polarlicht-Relativzahlen für Mitteleuropa hervortreten. 55 Jahre, d. h. fünf Um- oder Abläufe einer einzigen dieser Perioden, scheinen nach Fritz [54] zu einer umfassenderen Periode von 55, 56 Jahren zusammengefasst werden zu dürfen, welche auch die in alten Annalen überlieferten auffallenden Phänomene recht gut darstellt. Betreffs der theoretischen Erörterungen, die sich an den Periodicitätsnachweis ganz von selbst anreihen, wäre auf eine Abhandlung von Schiaparelli [55] zu verweisen.

Fig. 17.



bb Polarlicht-, aa Flecken-Relativzahlen.

Ist das Nordlicht wirklich eine den periodischen Charakter an sich tragende Erscheinung, so liegt es nahe, dasselbe auch auf seine allfallsige Verwandtschaft mit dem Wechselspiele der meteorologischen Faktoren zu prüfen. Fritz [56] und Forssman [57] haben diese Frage näher untersucht. Hornstein's Ergebniss, dass die jährlichen Luftdruckschwankungen die längere Periode mit den Nordlichtern gemein hätten, wird wesentlich modificirt durch Forssman's Satz: „Un certain mouvement du baromètre prédomine dans les perturbations magnétiques d'une grande intensité et dans les aurores boréales s'étendant au delà de la zône propre à ces phénomènes.“ Es schiene hiernach nämlich, als ob Sinn und Grösse der Barometerschwankungen nur für jenen Theil der Nordhalbkugel dem Sinn und der Grösse der Nordlichtvariationen entsprächen, welcher durch eine von den Shetlandsinseln nach dem schwarzen Meer ziehende, in ihrem sonstigen Verlaufe aber noch nicht festgestellte Scheidegrenze nach Norden hin abgetrennt wird. Dass die sogenannten Polarbanden, feine, federartige und parallel gereihte Wolkenbildungen, entweder das Substrat des Nordlichtes oder wahrscheinlicher das Produkt eines magnetischen Un-

gewitters — jedenfalls also für die Polarlichtforschung nicht gleichgültig — seien, sprach A. v. Humboldt [58] mit voller Bestimmtheit aus, und auch Winnecke konstatirte [59], dass die Cirruswolken häufig die Träger des Nordscheines seien. Ein Zusammenhang zwischen Polarlichtern einerseits, Sonnenhöfen und Nebensonnen andererseits kann nach Tromholt's Zusammenstellungen wenigstens nicht als unwahrscheinlich gelten [60]. Die neuerdings wieder von Overzier hervorgeholte Abhängigkeit der Polarlichterscheinungen vom Mondstande ist dagegen sehr zweifelhaft; Fritz verfolgt die Hypothese näher, spricht ihr aber jede besondere Bedeutung ab mit den Worten [61]: „Nach dieser Untersuchung wäre ein Einfluss des Mondes auf das Polarlicht, wie er sich aus dem Einflusse des Mondes auf den Erdmagnetismus“ — s. Kap. III, §. 4 — „vermuthen liesse, nur gering und wird vollständig durch die Beleuchtungsverhältnisse der Erde durch den Mond verdeckt.“

§. 6. **Kann das Polarlicht ohne Beiziehung der Imponderabilien erklärt werden?** Wir brauchen wohl, wenn wir die Lehre von Elektricität und Magnetismus kurzweg als diejenige von den imponderablen Flüssigkeiten bezeichnen, kaum zu erklären, dass wir damit, ganz wie Gauss (Kap. III, §. 2), nur einem alten bequemen Sprachgebrauche huldigen, nicht aber jene Theorie uns aneignen wollen. An Versuchen, das Nordlicht als eine weder elektrische, noch auch magnetische Erscheinung aufzufassen, hat es nicht gefehlt, und wir wollen dieselben nunmehr einer Prüfung unterziehen. Wir können drei Gruppen solch' vielgestaltiger Erklärungsweisen auffassen, deren eine rein optischer Natur ist, während eine zweite sich an Verbrennungsprocesse hält.

a) **Die Spiegelungs- und Brechungs-Hypothese.** Dieselbe ist uralt; der im XII. Jahrhundert bearbeitete norwegische „Königsspiegel“ (s. §. 1) sieht im Nordlicht bereits einen Widerschein, und nicht anders fasst es der Perser Kazwîni auf [62]. Nach Fritz waren Cartesius, Burmann, Frobesius, Hell, Hübsch, Savioli, Dorbi und v. Triewald ganz derselben Meinung, und letzterer suchte durch prismatisch gebrochenes Licht, welches er noch durch eine wiederum sehr stark brechende Flüssigkeit hindurchstreichen liess, künstlich eine Art Polarlicht hervorzurufen [63]. Im Grossen und Ganzen wäre also die Erscheinung nichts als ein grosser Eisblink. Ganz unverdienterweise hat der Versuch viel Aufsehen erregt, welchen vor nicht sehr langer Zeit Wolfert machte [64], dieser längst als ungenügend anerkannten Anschauung neues Leben einzuflössen; höchstens die rhetorische Ausschmückung des alten Grundgedankens konnte dabei selbstständigen Werth beanspruchen. Selten ist wohl je eine wissenschaftliche Hypothese mit souveränerer Nichtberücksichtigung aller berücksichtigenswerthen Momente aufgestellt worden. Dass Wolfert die zahllosen, weiter unten zu erörternden Beziehungen der Erscheinung zum Erdmagnetismus ignorirt, soll ihm nicht einmal besonders zur Last gelegt werden, aber auch sonst ist die Zahl der berechtigten Einwände Legion, wie u. a. bei Ami Boué [65] und Pechuël-Lösche [66] nachgesehen werden kann, welch' letzterer durch eine Fülle beglaubigter Thatsachen die kühne Aufstellung widerlegt, dass selbst im eigentlichen Polarlande das Aufleuchten des Lichtes einzig und allein am Nord-

himmel beobachtet werde. Noch zu wenig Gewicht aber scheint uns auf den allein schon durchschlagenden Gegengrund gelegt zu sein, dass jene spiegelglatten Eisfelder, deren die Reflexionshypothese dringend bedarf, nur in der Phantasie, nicht aber in der Wirklichkeit existiren (vgl. Kap. VI der sechsten Abtheilung).

b) **Die Verbrennungs-Hypothese.** Kant erzählt [67], dass Muschenbroek die Häufigkeit der Nordlichter im ersten und zweiten Drittel des XVIII. Jahrhunderts mit den Feuerdünsten in Verbindung gebracht habe, welche durch Erdbeben und Vulkane ausgestossen und dadurch dem nach Norden treibenden Passatwinde beigemischt worden seien. Aehnlich kalkulirte ein gewisser Schmieder. Aber Le Monnier, F. C. Maier, Cramer liessen einfach Dünste aus der Erde aufsteigen und sich in den oberen Partieen der Luft entzünden; dass dabei Peyroux de la Condrenière, Kirwan, Volta, Patrin, Parrot u. a. auch noch die Inflammation des Wasserdampfes durch einen überspringenden elektrischen Funken zu Hülfe nahmen [68], vermag den Grundcharakter der Hypothese nicht zu verändern. Graf Pfeil nimmt an, dass Wasserstoff und Kohlenwasserstoffgas von der Erdoberfläche emporsteigen, sich dann durchdringen und mengen, und wenn endlich*) Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser sich verbinde, so gäbe das einen Lichteffekt, das Polarlicht [69]. Auch Mohr's Definition des Nordlichtes als des augenfälligen Erzeugnisses zweier entgegengesetzter Strömungen in an einander grenzenden Luftschichten gehört eigentlich hierher; ganz zuversichtlich leitete derselbe für die Richtigkeit seiner Berechnung der aus den Barometerdifferenzen entspringenden mechanischen Kraftäusserungen Bestätigungen aus den Beobachtungen von Loomis und Prestel ab [70].

c) **Die kosmogonische Hypothese.** Wie schon im ersten Bande (S. 85) erwähnt ist, identificirte Mairan das Polarlicht mit dem Zodiakallicht. Wenn die Erde in ihrem Laufe das linsenförmige Konglomerat dieses Lichtes, resp. dessen Hauptebene durchschneidet, so sind Theile der Lichtmasse besonders gut sichtbar. Jedenfalls wäre also das Polarlicht ein Erinnerungszeichen an den vormaligen Zustand des Kosmos, und dafür tritt auch Kant ein, der nur das von der Entstehung des Planetensystems her übrig gebliebene Anhängsel kosmischer Materie nicht der Sonne, sondern der Erde selbst zutheilen möchte. „Die Erde hat etwas an sich, das man mit der Ausbreitung der kometarischen Dünste und ihren Schweifen vergleichen kann. Dieses sind die Nordlichter [71]."

§. 7. **Das Polarlicht und die magnet-elektrischen Kräfte.** Dass in der soeben gekennzeichneten Weise eine unserem modernen Wissensstande entsprechende Kausalerklärung des Polarlichtphänomenes nicht zu erbringen ist, steht fest. Denn eine solche Erklärung muss zu allererst der innigen Verwandtschaft gerecht werden, welche zwischen diesem Phänomen und den magnetischen und elektrischen Erdkräften obwaltet.

*) Bisher war aber doch nur von mechanischem Gemenge beider Gase die Sprache; die Kraft also, welche daraus eine chemische Verbindung machte, müsste doch erklärt werden.

Nachdem zuerst Halley ohne eigentlichen Beweis die magnetische Natur des Polarlichtes behauptet hatte, ward diese Vermuthung durch Hiorter, Celsius, Wargentin, Wilcke und Canton begründet, indem dieselben ein unverkennbares Handinhandgehen grösserer Störungen der Deklinations- und Inklinationsnadel mit dem Aufblitzen von Nordscheinen bemerkten [72]. Einen ebenfalls sehr wichtigen Beleg für diese Annahme förderte Ussher [73] zu Tage, indem er darauf hinwies, dass die charakteristischen Punkte des Nordlichtes in einer gewissen Beziehung zum magnetischen Meridiane stünden. Die Bogenscheitel pflegen sich in dieser Ebene zu befinden, während auf den Mittelpunkt der Korona die Axe der Neigungsnadel hinweist [74]. Dass da blos ein reiner Zufall spiele, wird Niemand annehmen wollen, zumal da die ersterwähnte Beobachtung in guter Harmonie zu der zweiten Beobachtung steht. A. v. Humboldt gieng allerdings etwas zu weit, wenn er „magnetische Ungewitter“ (Kap. II, §. 8) und Polarlichter für zeitlich und kausal untrennbare Erscheinungen erklärte, doch geht in der That in der Mehrzahl der Fälle dem Polarlicht eine stärkere Ablenkung der Nadel voraus [75]. Endlich zum Dritten decken sich, wie wir oben sahen, die Relativzahlen der erdmagnetischen und Polarlicht-Perioden so genau, wie man es nur verlangen kann, und würde man auf all' diese Fakta eine Probabilitätsrechnung im Sinne von Laplace begründen, so käme für die Wahrscheinlichkeit, dass zwischen beiden Erscheinungskomplexen kein innerer Zusammenhang bestehe, eine verschwindend kleine Zahl heraus. — Auf die elektrische Natur des Polarlichtes schliesst man seit Arago daraus, dass dasselbe sehr häufig störend und unterbrechend auf die Thätigkeit des galvanischen Telegraphen einwirkt [76]. Donati hat die Art dieser Einwirkung an der Hand der von den italienischen Stationen gelieferten Berichte verfolgt [77] und gefunden, dass jene sich an den senkrecht zum magnetischen Meridian gerichteten Drähten stärker bethätigt, als an den meridionalen. Hingegen ist die tägliche Periode der atmosphärischen Elektricität unabhängig von jener der Nordlichter, und auch die Periodicität der Gewitter scheint in diesem Falle zu sein, wenn nicht vielleicht die Ordinatenminima der Gewitterkurve und die Ordinatenmaxima der Polarlichtkurve — und umgekehrt — auf einander passen. Hierauf deutet wenigstens das durch v. Bezold aus einer mühsamen Bearbeitung der Gewitterstatistik gezogene Resultat [78]: „Hohe Temperaturen sowohl als fleckenfreie Sonnenoberfläche bedingen gewitterreiche Jahre. Da nun die Maxima der Fleckenbedeckung mit der grössten Intensität der Polarlichter zusammenfallen, so folgt daraus, dass beide Gruppen von elektrischen Erscheinungen, Gewitter und Polarlichter, einander gewissermassen ergänzen, so dass gewitterreiche Jahre nordlichtarmen entsprechen und umgekehrt.“

Dass bei aller Anerkennung des vorstehend geschilderten Zusammenhanges doch noch eine Fülle von gemeinsamer Basis ausgehender Hypothesen zur Erklärung der Polarlichterscheinungen möglich ist, kann nicht überraschen. Wir mustern die wichtigsten derselben, indem wir uns theilweise auf die lehrreiche geschichtlich-kritische Darlegung W. Förster's [79] beziehen.

a) **Die magnetischen Theorieen.** Urheber derselben ist der uns durch seine groteske Schöpfung eines unterirdischen Planeten aus

Kap. III, § 1 bekannte Halley; die magnetische Materie liess er an den Polen ausströmen und so die Polarlichter bilden. Dass in den Strahlen Aggregate von Metalltheilchen zu erblicken seien, glaubten Dalton und Biot, während Hansteen und Schönfeldt insoferne eine Brücke zu der zunächst zu besprechenden Anschauung hinüberschlugen, als sie das Leuchten der Magnetpartikeln als eine Elektricitätserscheinung betrachteten [80].

b) **Die mit Reibungselektricität operirenden Theorieen.** Es gilt hier wörtlich dasselbe, was auf Seite 397 des ersten Bandes von den elektrischen Erdbebentheorieen gesagt ist: Sie werden in dem Maasse zahlreicher und vielseitiger, in welchem die Elektricitätslehre immer neue Gebiete sich dienstbar macht. Auf die Aehnlichkeit des im luftverdünnten Raume (dem elektrischen Ei) sich entwickelnden Glimmlichtes mit dem Nordscheine machte zuerst Canton [81] aufmerksam. Beccaria, Priestley, Bertholon de St. Lazare giengen von denselben Gesichtspunkten aus, während Franklin und Lichtenberg Ansammlungen ungleichnamiger Elektricitätsmengen an den Polen und nachherige Ausgleichungsprocesse angenommen wissen wollten [82]. Entschieden verbessert wurde diese noch vage Schematisirung durch De la Rive, der annahm, dass durch den oberen Passat stetig Mengen positiver Elektricität den selbst mit negativer Elektricität geladenen polaren Luftschichten zugeführt würden; er suchte diese Vorstellung durch einen Apparat zur Darstellung künstlicher Polarlichter zu kräftigen, welcher allerdings gewisse Einzelheiten sehr gut nachahmte [83]. Den Passatwinden schrieb Robert Mayer insoferne eine Urheber-Rolle zu, als dieselben durch Reibung an der Unterlage elektrisch werden sollten, womit Kelley's und Secchi's Erfahrungen bis zu einem gewissen Grade stimmen [84]. Fritz selbst erklärt [85], ihm sagten am besten jene Theorieen zu, welche sich auf atmosphärische Vorgänge stützten, das Nordlicht also auf dieselbe Urquelle zurückführten, aus welcher die gewöhnliche Luftelektricität entspringt. Gerade bei dieser Sachlage ist es zu bedauern, dass Fritz anscheinend von der jenen Gedanken recht gut durchführenden Arbeit von Wijkander [86] keine Kenntniss besessen hat; dieselbe verbindet Luft- und Erdelektricität kausal.

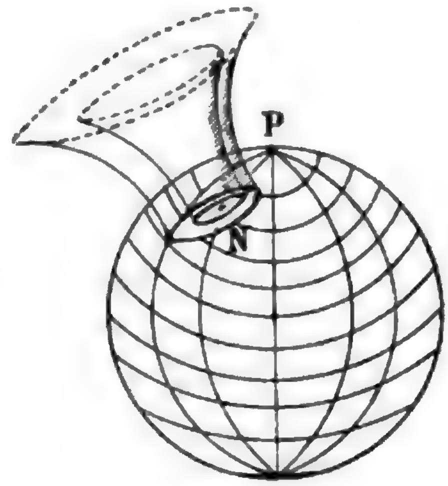
c) **Die elektromagnetischen und Induktions-Theorieen.** Nachdem Muncke bereits mit einer etwas spitzfindigen Hypothese debutirt hatte [87], welche die rotirende Erde unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen in einen riesigen Thermo-Elektromagneten sich verwandeln liess, gestattete die von Faraday entdeckte unipolare Induktion eine ganz neue Auffassung aller bezüglichen Vorgänge, und um deren Ausbildung hat Edlund sich hohe Verdienste erworben [88]. Wenn ein mit leitender Umhüllung versehener Magnet sich rasch um seine Axe dreht, und zugleich ein Punkt der Umhüllung in der Nähe eines Poles mit einem nahe bei'm Aequator befindlichen Punkte in Verbindung gebracht wird, so entsteht während der Rotation ein elektrischer Strom, welcher zwischen der Aequatorial- und Polarzone verläuft, dessen Richtung und Stärke übrigens vom Drehsinn und von der Drehgeschwindigkeit abhängig ist. Nun ist die Erde ein rotirender Magnet, bedeckt von einer gut leitenden Erdkruste, während die Lufthülle blos in ihren oberen Schichten gut, in ihren unteren aber schlecht leitet.

Es steigt sonach positive Elektricität in die Höhe, die Ene… Aufsteigens ist am bedeutendsten unter dem Aequator, verschwinde… klein unter den Polen. Damit sind wir, freilich jetzt unter ganz anderen Vorbedingungen, der oben geschilderten Hypothese von De la Rive wieder sehr nahe gekommen, soweit die thatsächlichen Erscheinungen in Frage kommen. In niederen Breiten wird die Ausgleichung sich gewöhnlich durch Ueberspringen von Funken vollziehen, das Gewitter könnte füglich als Aequatoriallicht bezeichnet werden; je günstiger aber die Bedingungen unmittelbarer Rückströmung sich gestalten, um so entschiedener wird der Typus des der Vereinigung beider entgegengesetzter Elektricitäten entstammenden Lichtes sich demjenigen des Glühlichtes in einer Geissler'schen Röhre nähern. In den Zwischenzonen werden alternirende Mischformen auftreten, wozu wahrscheinlich das St. Elms-Feuer (5. Abtheilung, Kap. IV) gehört. Die Lage der Maximalzone der Polarlichter ist von jener des magnetischen Poles abhängig. Im Grossen und Ganzen ist diess auch die Ansicht Lemström's [89]. Dieser ausgezeichnete Physiker experimentirte mit einer Holtz'schen Influenzelektrisirmaschine; den einen Pol derselben leitete er ab, den anderen verband er mit einer isolirten Konduktorkugel, welcher wieder eine kleine Kugel mit Spitzen aufgesetzt werden konnte. Letzterer wurde eine Geissler'sche Röhre mit kapillaren Verengerungen bald mehr bald minder nahe gebracht. Da verschwand denn das Licht bei Anwendung des denkbar niedrigsten Druckes in einer Entfernung von 2 m, die kapillaren Theile behielten das kontinuirliche Leuchten am längsten bei, und bei einer gewissen konstanten Höhe ereignete sich ein blitzartiges Aufleuchten. Jedem Drucke entsprachen bestimmte Distanzen des stetigen und des blitzartigen Leuchtens. Man sieht, dass diese Versuche ein treffliches Material zu einer den oben dargelegten theoretischen Ansichten angepassten Erklärung des Polarlichtes bieten; nebensächlich scheint es, dass Lemström nicht eigentlich die Edlund'schen Induktionsströme zu Grunde legt, sondern einfach die Erde für einen wahren Konduktor, geladen mit positiver Elektricität unbekannter Provenienz, ausgiebt, dem ein entgegengesetzt geladener Konduktor, die Luft, gegenüberstehe. Tromholt im Gegentheile erblickt [90] mit Edlund in der Erde den Kern einer Induktionsspirale und führt, ähnlich wie Wijkander (s. o.), den Lamont'schen Erdstrom (Kap. I, §. 5) auf denselben Ursprung zurück. Damit diess freilich in der richtigen Weise geschehen könne, bedarf die Edlund-Lemström'sche Theorie, die zweifellos fortbildungsfähigste von allen, noch einer gewissen Vervollkommnung, an deren Auseinandersetzung wir aber nur in Verbindung mit der Schilderung einiger anderer, an sich minderwerthiger, Hypothesen herantreten können.

d) **Das Polarlicht als kosm…he Erscheinung betrachtet.** Baumhauer war es [91], der zuerst …e Frage anregte, ob nicht eisenhaltige Partikeln von aufgelösten Meteorsteinen oder sonstigem kosmischem Staube (vgl. I. Band, S. 8… ff.) von den magnetischen Polen angezogen und in der Erdatmosphäre zum Glühen gelangen könnten. Olmsted pflichtete im Wesentlichen …ei, und Fritz führt an [92], dass auch eine so unzweifelhafte Autorität, wie Töpler, die „Meteorstaubtheorie" als die beste erachtet habe. Zehfuss berechnete [93]

analytisch die Flächen, nach welchen sich die herzuströmenden Körperchen anreihen sollten, und erklärte dadurch die verschiedenen Erscheinungsformen des Polarlichtes (Draperieflächen u. s. w.). Fig. 18, worin P den Nordpol der Erde, N den Nordenskiöld'schen Punkt vorstellt, ist geeignet, von jenen Flächen eine Vorstellung zu vermitteln. Bis zu einem gewissen Grade nähert sich dieser Ansicht diejenige von Scheffler [94]; die für die Induktions-Magnetisirung von Seiten des Erdstromes am günstigsten situirte Luftschicht bildet einen mässig grossen Cylinder um die verlängerte magnetische Erdaxe herum. Sowie der Mantel des Cylinders magnetisirt ist, verwandelt sich derselbe in einen Kegel — bei Zehfuss ist es ein parabolischer Rotationskörper —, dessen Seitenlinien gegen den Magnetpol konvergiren. Groneman, der sich mit dieser Hypothese gewiss am einlässlichsten beschäftigt und, weit mehr als Andere, auch die Spektralanalsye berücksichtigt hat, gelangt bezüglich der Natur des Polarlichtes zu folgenden Schlüssen [95]: „Stellt man sich die Erde vor umgeben von einer Wolke feinen kosmischen Eisenstoffes, dann werden von allen Seiten Bündel oder Strömungen dieser Eisentheilchen in die oberen Regionen unserer Atmosphäre treten, deren Schnelligkeit von der eigenen wahrscheinlich parabolischen oder elliptischen Geschwindigkeit der Theilchen, von jener der Erde und von der Anziehung der letzteren abhängig sein wird. Die Strömungen werden nach den Polen zu stärker hervortreten und über dem magnetischen Aequator gar nicht, oder nur bei sehr starker Entwickelung der magnetischen Kraft.“

Fig. 18.



In einem ganz anderen und, wie uns bedünken will, korrekteren Sinne adoptirt W. Förster die kosmische Hypothese, indem er annimmt [96], dass, was die periodische Ausdehnung der Glühlichterscheinungen fast über die ganze Erde anlangt, wohl ab und zu die von der rotirenden Erde selbst gelieferten Quanta positiver Elektricität durch kosmische Zuschüsse vermehrt werden müssten. Er denkt dabei an eine Aktion der Sonne und findet sich so im Einklang mit vielen der Autoren, deren in §. 3 des vorigen Kapitels gedacht ward, und insbesondere mit Werner Siemens und mit Sirks, der auch seinerseits eine Hauptrolle bei'm Zustandebringen des Polarlichtphänomenes den von der Sonne auf der Erde inducirten elektrischen Strömen zuweist [97]. Förster legt (a. a. O.) auch besonderes Gewicht darauf, dass man von den gewöhnlichen Anomalieen des permanenten Erdmagnetismus jene flüchtigen Störungen zu trennen solle, welche ein feines erdmagnetisches Instrument Tag für Tag erkennen lasse, zu deren genauerem Studium es aber der Aufstellung von Selbstregistratoren in nördlichen Gegenden bedürfe. Förster warnt mit allem Rechte davor, sich dem landläufigen „Sonnenflecken-Fanatismus“ in die Arme zu werfen, will aber keineswegs bestreiten, dass die Anwendung der Lehre von der unipolaren Induktion auf die Sonne und deren Axendrehung noch reiche Früchte tragen könne.

So ist denn das Polarlicht, im Einklange mit den von Donati in einer erst später bekanntgewordenen Arbeit niedergelegten Anschauungen [98], als eine wenn auch ursprünglich terrestrische, so doch von kosmischen Faktoren unzweifelhaft beeinflusste Erscheinung erkannt worden. Wie gut gerade die unserem Resultate zu Grunde liegenden theoretischen Betrachtungen mit der Erfahrung sich vertragen, darüber mag uns der folgende Paragraph belehren.

§. 8. **Künstliches Nordlicht.** In weit kräftigerer und glücklicherer Weise als De la Rive ist es nämlich in jüngster Zeit erst Lemström gelungen, die Richtigkeit seiner Auffassung der Erscheinung als eines magnet-elektrischen Ausgleichungsprocesses dadurch darzuthun, dass er künstliches Polarlicht erzeugte. Originalmittheilungen fehlen, soweit uns bekannt, zur Zeit noch, deshalb halten wir uns an den vollkommen ausreichenden Bericht von Förster [99]. Nachdem Lemström mehrfach die Wahrnehmung gemacht hatte, dass sich Nordlichter über Bergspitzen, sogar diesseits der Wolkendecke, bilden, suchte er experimentell elektrische Spannungen von einer Intensität herzustellen, dass Glühlichterscheinungen ganz von selbst daraus resultiren mussten. Zwei Berge im nördlichen Finnland, beziehungsweise 800 und 1100 Meter hoch, dienten ihm als Beobachtungsstationen, indem ihre Rücken eine Hochfläche darstellten, auf welcher mehrere hundert vertikal nach oben gerichtete Metallspitzen angebracht werden konnten; diese Spitzen hatten eine gegenseitige Entfernung von 0,5 m und waren auf ein Netz von Kupferdrähten aufgelöthet, welches sich etwa 2 m über den Erdboden erhob und in bekannter Weise isolirt war, d. h. es war ein davon ausgehender, isolirter Draht nach Art der Blitzableiterdrähte mit dem Boden verbunden. So hatte man denn ein grossartiges Blitzableitersystem geschaffen. Sobald die leitende Verbindung des Drahtnetzes mit der leitenden Erde geschlossen war, machten sich in der Drahtleitung unablässig elektrische Ströme von schwankender Stärke bemerklich; die Ausschläge der Elektroskope deuteten auf positive, nach der Erde hin gerichtete Elektricität. Bald auch zeigte sich über den Spitzen ein gelblich-weisser Schimmer, dem St. Elms-Feuer (s. §. 7) vergleichbar, und in diesem Schimmer konnte — darin liegt offenbar der Schwerpunkt — durch die spektroskopische Prüfung jede der charakteristischen Nordlichtlinien nachgewiesen werden.

Neuere Versuchsreihen von Lemström und Tromholt scheinen zur willkommenen Bestätigung jener hochwichtigen Resultate des Ersteren zu dienen. Der Erdphysik wie der Elektrotechnik steht hier noch eine grosse Zukunft bevor. In Deutschland hat G. Karsten die Anstellung analoger Versuch wenigstens angeregt.

[1] Fritz, Das Polarlicht, Leipzig 1881. — [2] Ibid. S. 3 ff. — [3] Ibid. S. 6 ff. — [4] Gesner (Conradus Bolovesus Fridemontanus), Historia et interpretatio prodigii, quo coelum ardere visum est per plurimas Germaniae regiones, Tiguri 1561. — [5] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883. Sp. 688 ff. — [6] Ibid. Sp. 112. — [7] Liebknecht, Luculae borealis d. 26. Nov. 1710 Gissae observatae designatio, Acta Erud. Lips., 1711. S. 325 ff. — [8] Hellmann, Repertorium etc., Sp. 237. — [9] Mairan, Traité physique et historique de l'aurore

boréale, Paris 1733, 2me édit., ibid. 1754. — [10] Johann Reinhold Forster's Bemerkungen auf einer Reise um die Welt, deutsch von Georg Forster, Berlin 1783. S. 103. — [11] Clausius, Die Lichterscheinungen der Atmosphäre, dargestellt und erläutert, (Grunert's) Beiträge zur meteorologischen Optik, 1. Theil. S. 453 ff. — [12] v. Wohlgemuth, Die österreichisch-ungarische Polarexpedition nach Jan Mayen 1882/83, Mittheil. d. k. k. geogr. Gesellsch. zu Wien, 27. Band. S. 9 ff. — [13] Fritz, Das Polarlicht, S. 256 ff. — [14] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 821. — [15] Das Glitzern der Sterne während der Polarlichterscheinungen, Naturforscher, 16. Jahrgang. S. 49 ff. — [16] Montigny, Accroissement d'intensité de la scintillation des étoiles pendant les aurores boréales. L'Astronomie (de Flammarion), 1883. S. 501 ff. — [17] Fritz, Das Polarlicht. S. 276 ff. — [18] Ibid. S. 287. — [19] Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, Berlin 1875. S. 79. — [20] Ph. Müller, Nordlichter und Stationen zur Beobachtung derselben, Gaea, 20. Jahrgang. S. 1 ff. — [21] Kanold. Sammlung von Natur- und Medicin- wie hierzu gehörigen Kunst- und Literaturgeschichten, Breslau, Winterquartal 1718. S. 1959. — [22] Mairan, Observations de quelques aurores boréales, Mém. de l'ac. franç., 1764. S. 380 ff. — [23] J. E. Silberschlag, Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach phys. und mathem. Grunds., 1. Theil, Berlin 1780. S. 146 ff. — [24] Hellmann, Repert. etc.. Sp. 193. — [25] Fritz, Das Polarlicht, S. 76. — [26] Ibid. S. 84. — [27] Ibid. S. 89. — [28] Ibid. S. 95. — [29] Flögel, Ueber d. Höhe d. Polarlichtes u. dessen Lage im Raume, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteorol., 6. Band. S. 353 ff. S. 385 ff. — [30] Paulsen, Die Höhe des Nordlichtes, Gaea, 20. Jahrgang. S. 313 ff. — [31] Fritz, Das Polarlicht, S. 11 ff. — [32] Ibid. S. 33 ff. — [33] Fritz, Die Häufigkeit des Nordlichtes in den verein. Staaten v. Nordamerika, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Band. S. 239. — [34] Nordenskiöld über das Nordlicht, Gaea, 18. Jahrgang. S. 501 ff. — [35] Fritz, Das Polarlicht, S. 258. — [36] Ibid. S. 260. — [37] Ibid. S. 264 ff. — [38] Ibid. S. 266. — [39] Angström, Ueber das Septrum des Nordlichtes, Ann. d. Phys. u. Chem., Jubelband. S. 421 ff. — [40] Roscoe, Die Spektralanalyse in einer Reihe von sechs Vorlesungen, deutsch von v. Schorlemmer, Braunschweig 1870. S. 180. — [41] A. Herschel, On the spectrum of the aurora, Phil. Mag., (4) Vol. IL. S. 65 ff. — [42] Capron, On the comparison of some tube and other spectra with the spectrum of the aurora, ibid. Vol. IL. S. 249 ff. S. 481 ff. — [43] Lemström, Sur la décharge électrique dans l'aurore boréale et le spectre du même phénomène d'après des observations faites pendant un voyage dans la Laponie Finl., Arch. des sciences phys. et nat., Vol. L. S. 225 ff. — [44] Fritz, Das Polarlicht, S. 274 ff. — [45] Fritz, Verzeichniss beobachteter Polarlichter, Wien 1873. — [46] Fritz, Das Polarlicht, S. 101 ff. — [47] Chr. H. Pfaff, Ueber die strengen Winter während des 18. Jahrhunderts, Kiel 1810. — [48] Olmsted, On the recent secular period of the aurora borealis, Washington 1856. — [49] Hällström, De apparitionibus aurorae borealis in septentrionalibus Europae partibus, Acta soc. scient. Fenn.. Vol. II. S. 369. — [50] Fritz, Das Polarlicht, S. 105. — [51] Ibid. S. 115 ff. — [52] Loomis, Comparison of the mean density range of the magnetic declination and the number of auroras observed each year, Amer. Journal of science and arts, 1873. S. 245 ff. — [53] Fritz, Das Polarlicht, S. 196. — [54] Ibid. S. 209. — [55] Schiaparelli, Il periodo undecennale delle variazioni diurne del magnetismo terrestre considerato in relazione colla frequenza delle macchie solare, Mem. degli scettroscopisti italiani, Supplement. — [56] Fritz, Das Polarlicht, S. 211 ff. — [57] Forssman, Des relations de l'aurore boréale et des perturbations magnétiques avec les phénomènes météorologiques, Nova acta reg. soc. scient. Upsal., 3. Ser., Vol. VIII. — [58] A. v. Humboldt, Kosmos, 4. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 145. — [59] Fritz, Das Polarlicht, S. 245. — [60] Tromholt, Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhanges zwischen den Nordlichtern und den Sonnenhöfen und Nebensonnen, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteorol., 10. Band. S. 16. — [61] Fritz, Das Polarlicht, S. 254. — [62] Zakarija ben Muhammed ben Mahmûd el Kazwîni's Kosmographie, deutsch von Ethé, 1. Band, Leipzig 1868. S. 205 ff. — [63] Fritz, Das Polarlicht, S. 294. — [64] Wolfert, Das Nordlicht, eine weder magnetische noch elektrische Erscheinung, Petermann's Geogr. Mittheil., 1872. S. 412 ff. — [65] A. Boué, Bemerkungen über die von Wolfert erneuerte Theorie der Polarlichter durch Reflexions- und Brechungsphänomene, Wien 1873. — [66] Pechuel-Lösche, Die Erscheinung des Polarlichtes, Petermann's Geogr. Mittheil.. 187[illegible] 228 ff. — [67] Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. . Schubert, Leipzig 1839. S. 258 ff. — [68] Fritz, Das Polarlicht, S. 308 ff. [illegible]raf Pfeil, Beiträge zur Lehre von der Atmosphäre, Arch. d. Math. u.

Phys., 45. Theil. S. 368 ff. — [70] Mohr, Noch einmal das Nordlicht. Gaea, 8. Jahrgang. S. 580 ff. — [71] Kant, Schriften etc. S. 120. — [72] Ibid. S. 163. — [73] Ussher, An account of an aurora borealis seen in full sunshine, Transact. of the Br. Irish Academy, 1788. S. 189 ff. — [74] Fritz, Das Polarlicht, S. 39 ff. — [75] Ibid. S. 176. — [76] Ibid. S. 216 ff. — [77] Donati, Phenomena manifested in telegraphic lines during the great aurora borealis of february 4 1872. Ann. rep. of the Smithson. institution, 1872. S. 299 ff. — [78] v. Bezold, Ueber die gesetzmässigen Schwankungen in der Häufigkeit der Gewitter während langjähriger Zeiträume, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., M.-ph. Kl. 1875. S. 284 ff. [79] W. Förster, Ueber die neuesten Fortschritte in der Erklärung der Polarlichter, Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 6. Band. S. 35 ff. — [80] Fritz, Das Polarlicht, S. 297 ff. — [81] Canton, An attempt to account for the regular diurnal variation of the horizontal magnetic needle, Philos. Transact., 1759. S. 398 ff. — [82] Fritz, Das Polarlicht, S. 300. — [83] Ibid. S. 91. S. 209. — [84] Ibid. S. 302 ff. — [85] Ibid. S. 321. — [86] Wijkander, Ueber die magnetischen Störungen in ihrem Zusammenhange mit dem Nordlicht, Gaea, 13. Jahrgang. S. 607 ff. — [87] Fritz, Das Polarlicht, S. 303. — [88] Förster, Ueber etc. S. 37 ff. — [89] Lemström, Sur la théorie de l'aurore boréale à propos de quelques phénomènes observés dans le tube de Geissler, Arch. des sciences phys. et nat., Vol. LIV. S. 73 ff.; Vol. LV. S. 1 ff. — [90] Vgl. [20]. — [91] Baumhauer, De ortu lapidum meteoricorum, Utrecht 1844. — [92] Fritz, Das Polarlicht, S. 312. — [93] Zehfuss, Physikalische Theorie des Nordlichtes, Frankfurt a. M. 1872. — [94] Scheffler, Die Naturgesetze, 2. Theil, Leipzig 1877. S. 304 ff. — [95] Groneman, Neue Hypothese über das Nordlicht, Gaea, 9. Jahrgang. S. 273. — [96] Förster, Ueber etc. S. 39 ff. — [97] Fritz, Das Polarlicht, S. 307. — [98] Die kosmische Stellung des Polarlichtes, Gaea, 11. Jahrgang. S. 632 ff. — [99] Förster, Künstliches Polarlicht, Sitzungsber. d. elektrotechn. Ver. zu Berlin, März 1883.

Fünfte Abtheilung.

Atmosphärologie.

Kapitel I.

Die allgemeinen Eigenschaften der Atmosphäre; ihre Gestalt und ihre Ausdehnung.

§. 1. **Die Meteorologie, ihre Geschichte und ihre Literatur.** Das heute so viel gebrauchte Kunstwort μετεωρολογία besass ursprünglich, wie schon auf S. 4 des ersten Bandes bemerkt ward, einen weit allgemeineren Sinn denn gegenwärtig, und ebenso ist auch die für die Geschichte unseres Wissenszweiges sehr wichtige Schrift von Ideler [1] aufzufassen. Aphorismen zu einer Geschichte der Meteorologie hat Siber [2] geliefert; während aber dieselben nur die älteren Zeiten in's Auge fassen, fehlt es leider noch völlig an zusammenfassenden Arbeiten über die Folgezeit. Von den astrometeorologischen Witterungsregeln eines Homer, Hesiod, Columella und Vergilius abgesehen, treten im Alterthum besonders die atmosphärologischen Systeme des Hippokrates, des Aristoteles und des Theophrast hervor, welch' letzterer über die Entstehung der Luftströmungen und über den Monsuncharakter gewisser regelmässig wehender Winde ganz zutreffende Ansichten sich gebildet hatte. Auch Plinius und Seneca verdienen Beachtung, im Mittelalter wären zu nennen Isidorus Hispalensis, Hrabanus Maurus, Virgilius von Salzburg und der Bischof Abogard, der wohlbekannte Bekämpfer des Ordalwesens. Die eigentlich wissenschaftliche Meteorologie datirt selbstverständlich aus weit späterer Zeit; erstlich musste durch Seereisen und Entdeckungsfahrten die Kenntniss solcher Erdräume erschlossen sein, innerhalb deren die Veränderungen im Luftkreise mit grösserer Regelmässigkeit sich vollziehen, als es in unseren Breiten der Fall zu sein pflegt, und zweitens musste ein gewisses Maass positiver mathematisch-physikalischer Kenntnisse vorliegen, ehe man an die kausale Ergründung jenes Wechselspieles herantreten konnte. Tycho Brahe mit seinem trefflichen Witterungs-Tagebuch [3] und Kepler mit seinen zahlreichen Bemerkungen über meteorologische Fragen, die wir aus Brocard's einheitlicher Zusammenstellung [4] kennen lernen können,

stehen am Eingange dieser neueren Periode, auf deren Entwickelungsphasen in den einzelnen Abschnitten dieser Abtheilung zurückzukommen wir uns vorbehalten.

Wenn wir in unserer Ueberschrift uns des Titels Atmosphärologie bedienten, so geschah diess deshalb, um als Unterabtheilungen einer die Verhältnisse der irdischen Lufthülle ihrem Gesammtumfange nach würdigenden Disciplin die Meteorologie im engeren Sinne oder Witterungskunde einerseits von der Klimatologie andererseits scheiden und doch das beide Disciplinen vereinigende Band in der Hand halten zu können. Zweifellos ist die Klimatologie ein eminent geographisches Wissensgebiet, die Geophysik aber ist als solche nicht blos an den Fortschritten jener letzteren, sondern ebensosehr an denjenigen ihrer älteren Schwesterwissenschaft betheiligt. Selbst wenn wir nichts als eine physikalische Geographie im gewöhnlichen Wortsinne zu schreiben beabsichtigten, würden wir doch Supan's Auffassung nicht theilen können, dass die eigentliche „Meteorologie nicht geographisch" sei [5].

Die ersten Kompendien der Gesammtwissenschaft rühren her von dem Franzosen Cotte [6]; wer etwa, durch die Titelworte getäuscht, Meurer's dickleibiges Werk [7] aus dem Ende des XVI. Jahrhunderts in die gleiche Kategorie stellen wollte, würde irren, da dasselbe nur die landläufigen Scholien zum Aristoteles enthält. Neuere Hand- und Lehrbücher*) sind diejenigen von Kastner [8], Kämtz [9], Murphy [10] — diess zumal durch seine sorgfältige Berücksichtigung aller geographischen Faktoren ausgezeichnet —, Jahn [11], E. Schmid [12], Cornelius [13]. Alle diese Werke stehen in der Hauptsache auf dem der Meteorologie von unserem deutschen Altmeister Dove angewiesenen Standpunkte; einen tiefgehenden Fortschritt signalisirt erst das ursprünglich dänisch geschriebene, in Deutschland aber sehr rasch eingebürgerte Buch von Mohn [14], in welchem die dynamische Betrachtungsweise die statistisch-klassificirende zu bewältigen anfängt. Gute populäre Darstellungen brachten Helmes [15], Bachmann [16], Viscovich [17], Houzeau-Lancaster [18], H. J. Klein [19]; von englischer Seite seien die Vorträge eines Gelehrten-Vereines [20] und die durch v. Freeden uns zugänglich gemachte Schrift von Scott [21] erwähnt. Eigentliche Geschichtswerke existiren, wie schon bemerkt, noch nicht, doch hat Murhard [22] wenigstens einzelne Theile monographisch behandelt, reiches Material lieferte später Kopp [23], und auch Schwartz [24], der namentlich interessante mythologisch-kulturhistorische Beiträge brachte. Eine literarische Leistung, um welche uns andere Nationen beneiden, ist Hellmann's Repertorium [25], welches auch die Grundlinien zu einer dereinstigen Geschichte der Meteorologie in Deutschland enthält [26] und speziell bei der für die Einrichtung eines geordneten Beobachtungsdienstes maassgebend gewesenen Academia Palatina verweilt [27].

§. 2. **Zusammensetzung der Atmosphäre.** Diese Zusammensetzung ist von der geographischen Lage des Untersuchungsortes in hohem

*) Es sei ausdrücklich betont, dass nicht entfernt auf Vollständigkeit gesehen und deutschen Leistungen in erster Linie Rechnung getragen wird.

Grade unabhängig; solange die Luft trocken ist, bleibt die Menge der unsere Luft bildenden Substanzen allenthalben sich so gleich, dass die gefundenen Unterschiede, wie sich Hann [28] ausdrückt, meist die Fehlergrenze der Luftanalysen nicht überschreiten. Die altgriechische Anschauung, welcher zufolge die Luft eines der vier Elemente, also einen absolut nicht weiter zerlegbaren Stoff, darstellen sollte, scheint, wenn Muncke [29] im Rechte ist, zuerst durch Boyle erschüttert worden zu sein. Im Verlauf des vorigen Jahrhunderts kam dann der heftige Streit zwischen phlogistischer und antiphlogistischer Chemie zum allmähligen Austrag, und zwar war für den endgültigen Sieg der letzteren Richtung der Umstand entscheidend, dass Black, Priestley, Scheele, Cavendish und Lavoisier nicht nur neue Gasarten darzustellen, sondern auch die atmosphärische Luft in ihre Bestandtheile zu zerlegen lehrten. Diese letzteren sind der Hauptsache nach Sauerstoff und Stickstoff, und zwar ist die Luft nicht etwa eine chemische Mischung, sondern vielmehr ein mechanisches Gemenge von 21 Volumtheilen Sauerstoff und 79 Volumtheilen Stickstoff, natürlich aber nur in vollkommen trockenem Zustande*). Die Aufgabe, ein irgendwie beschaffenes Gasgemenge auf seinen Sauerstoffgehalt quantitativ zu prüfen, ward in früherer Zeit durch besondere Apparate, die Eudiometer oder Oxygenometer, zu lösen gesucht, unter deren Vielzahl diejenigen von Volta und Fontana die bekanntesten sein dürften. Gmelin verbreitet sich über die Vorzüge und Mängel dieser Vorrichtungen [31].

Allerdings kommen ausser den beiden genannten auch noch anderweite Stoffe in der irdischen Atmosphäre vor. Zwar sind von denselben meistentheils nur ganz winzige Mengen vorhanden, allein unter Umständen können sich dieselben doch so sehr steigern, um sogar eine hygieinische Bedeutung zu erlangen, und keinenfalls darf die Meteorologie achtungslos an ihnen vorübergehen. Wir registriren dieselben nachstehend:

a) **Kohlensäure.** Bonnet war es, der zuerst bei den Pflanzen einen förmlichen Athmungsprocess nachwies [32], Priestley, Ingenhouss und zumal Senebier [33] untersuchten die Sache weiter, und es stellte sich heraus, dass unter dem Einflusse des Sonnenlichtes alle

---

*) Ucke hat jüngst eine Statistik des atmosphärischen Sauerstoffgehaltes für siebzehn Orte von verschiedener Meereshöhe geliefert [30]. Die hier wiedergegebene Tabelle lässt die Schwankungen der Sauerstoffmengen. in Procenten berechnet. erkennen:

Ort	Sommer und Winter	Januar und Juli	Ort	Sommer und Winter	Januar und Juli	Ort	Sommer und Winter	Januar und Juli
Seringapatam	1	2	Berlin . .	7	7	St. Petersbg.	9	11
Madras . .	2	3	Stuttgart .	8	8	Lugau . .	12	14
Sitcha . . .	3	4	Nasinabad .	8	8	Jekaterine-		
London . .	4	6	Prag . . .	8	9	burg . .	13	15
Peissenberg .	5	5	Wien . . .	8	9	Samara . .	14	15
Brüssel . .	6	6	Warschau .	9	9	Barnaul . .	16	19

Je kontinentaler ein Ort liegt, um so grösser ist offenbar die Halbjahrschwankung.

grünen Blätter die Fähigkeit erhalten, Sauerstoff auszuscheiden und dafür Kohlensäure zu binden, während bei Nachtzeit der umgekehrte Process sich vollzieht. Diese vielfach angezweifelte und sogar von Saussure bekämpfte Ansicht, dass nämlich der variable Gehalt der Luft an Kohlensäure von der Vegetation zu einem grossen Theile bedingt werde, ist neuerdings durch die Beobachtungen ganz augenfällig bestätigt worden, welche Müntz und Aubin in der Südsee angestellt haben [34]. In der Nähe von Kap Hoorn nimmt nämlich nicht, wie bei uns, der Kohlensäuregehalt bei Nacht zu, gewiss nur, weil eben auf den benachbarten Landmassen so gut wie gar keine Vegetationsbedeckung vorhanden ist. Heine hat sich die Mühe gegeben, alle älteren Arbeiten über die Bestimmung der unserer Atmosphäre beigemengten Kohlensäure kritisch zu sichten [35]; ihm zufolge beträgt dieser Gehalt [36] nach Thénard 0,04, nach Saussure 0,0415, nach Boussingault 0,04, nach Gilm 0,0382 bis 0,0458, nach Thorpe 0,0386, nach Henneberg 0,0332, nach Verver 0,0315 bis 0,0410, nach Truchet 0,04, nach Zittel (Wüstenluft aus der Sahara) 0,025 bis 0,050, nach v. Fodor 0,038, nach Fittbogen und Hasselbach 0,034, nach Clason 0,0279, nach Reiset 0,0294 bis 0,0341, nach Armstrong 0,0296 bis 0,0360, nach Levy 0,022 bis 0,036, nach Müntz und Aubin (s. o.) 0,0288 bis 0,0422 Procent. Heine selbst und Röntgen gründeten (a. a. O.) ihr Bestimmungsverfahren auf den Umstand, dass Sonnenwärme in ganz reiner Luft nicht verschluckt wird, während schon eine geringfügige Beimischung von Kohlensäure genügte, um eine merkliche Absorption einzuleiten; auf diese Weise ergab sich ein wahrscheinlichster Werth von 0,025 bis 0,027%. Die von den Gebrüdern Schlagintweit behauptete Zunahme des Kohlensäuregehaltes mit der Höhe hat sich nicht bestätigt, indem gegentheils die vertikale Vertheilung dieses Stoffes eine sehr gleichmässige zu sein scheint [37]. Auch im Boden findet sich freie Kohlensäure, deren Mengen Pettenkofer und Fleck zu finden gelehrt haben; die geographische Vertheilung derselben ist unregelmässig, in Klausenburg z. B. beobachtete v. Fodor [38] in 4 m Tiefe einen Gehalt doppelt so gross, als es der unter gleichen Umständen zu Dresden, viermal so gross, als es der zu München gemessene war. Möller fasst seine und Anderer Forschungen über die Kohlensäure des Bodens in folgenden acht Sätzen zusammen [39]: I. Die Luft in ausgeglühtem Mineralboden ist nicht viel reicher an Kohlensäure, als die Atmosphäre; II. Bodenarten mit organischen Beimengungen enthalten eine stetig wirkende Quelle zur Bildung von Kohlensäure*); III. trotz anscheinend unveränderter äusserer Vorbedingungen schwankt der Gehalt an Kohlensäure gleichwohl erheblich; IV. aspirirt man aus einer abgeschlossenen Bodenmenge nach und nach grössere Luftmengen, so verarmt der Boden an Kohlensäure; V. in absolut trockenem Boden findet sich kein Ueberschuss von Kohlensäure; VI. blosse Insolation vermag dem Boden genug Wasser zu entziehen, um die Kohlensäurebildung zu hemmen; VII. ein sehr geringer Wassergehalt producirt unter Umständen dasselbe Quantum, wie völlig durchtränktes Erdreich; VIII. wenn

---

*) Von anderen Hygieinikern wird diesem Faktor nur eine geringe Bedeutung beigemessen.

ein vorher lufttrockener Boden bewässert wird, so stellt sich eine vorübergehende Steigerung in dem Kohlensäuregehalte der Grundluft ein.

b) **Ozon.** Im Jahre 1839 sah sich Schönbein bei elektrolytischen Untersuchungen auf einen in manchen Erscheinungen neuen Stoff, das Ozon, geführt, in welchem er jedoch dessungeachtet nur eine allotrope Form des Sauerstoffes erkennen zu sollen glaubte [40]. Seitdem sind zahlreiche Methoden zur Darstellung des Ozons angegeben worden, darunter neuerdings drei einfache und zu Kollegienversuchen geeignete von Krebs [41]; das eine mal geschieht die Darstellung ebenfalls durch Elektrolyse, ein zweites mal aber durch Zersetzung von Kaliumpermanganat vermittelst Schwefelsäure und endlich durch Zersetzung von Bariumsuperoxyd vermittelst Schwefelsäure. Ueber den physikalischen Charakter des Ozons und über die Berechtigung der Schönbein'schen Hypothese besteht völlige Klarheit noch nicht; Hautefeuille und Chappuis haben in allerjüngster Zeit gezeigt [42], dass die Bedingungen für die Ueberführung des Ozons in den tropfbarflüssigen Zustand im Cailletet'schen Apparate andere sind, als sie für das Flüssigmachen des Sauerstoffes bestehen, und damit scheint doch ein Anhaltspunkt dafür gegeben zu sein, dass das eine Gas nicht blos eine modificirte Form des anderen ist. Nach Andrews [43] kommt Ozon überall in freier Luft vor, die Luft bewohnter Räume und grösserer Städte ist gewöhnlich ozonlos, freie Landluft dagegen ozonhaltig, auf Bergen begegnet man grösseren Ozonmengen, als in der Ebene, an der Seeküste ebenso grösseren Mengen, als im Inneren eines Landes, nach Gewittern macht sich ein Wachsthum des Ozongehaltes bemerklich. Prestel suchte mit unermüdlichem Fleisse die Gesetzmässigkeit in der Schwankung des Ozongehaltes herauszufinden [44], ohne jedoch zu festen Ergebnissen zu gelangen. Dass das Ozon im Haushalte der menschlichen Natur keine unwichtige Rolle spielt, erhellt schon aus dem oben Gesagten; Näheres darüber findet man in einem interessanten Vortrage von Lender [45], der die physiologische Ursache jener hygieinischen Bedeutung darin erblickt, dass die im Blute des thierischen Körpers massenhaft vertheilten rothen Blutscheibchen den Sauerstoff anziehen, verdichten und in Ozon verwandeln. Nach Frerichs sollte während einer Epidemie nur mit Ozon imprägnirtes Wasser getrunken werden [46], und R. Wolf behauptet [47], dass am Tage einer starken Ozonreaktion, sowie an den unmittelbar sich daran anschliessenden Tagen die Sterblichkeit sich über das Jahresmittel erhebe, und umgekehrt. Man sieht, dass von Uebereinstimmung der Fachmänner auf diesem Gebiete noch nicht gesprochen werden kann. Eine sehr gute Uebersicht gewähren C. Engler's „Historisch-kritische" Studien im Jahrgang 1879 der „Leopoldina".

c) **Anderweite Gase.** Unter normalen Verhältnissen kommt von sonstigen Gasen in messbaren Quantitäten höchstens Ammoniak und schweflige Säure in der Atmosphäre vor; nur besondere Umstände bedingen eine Ausnahme, wie z. B. Wasserstoffgas hie und da in der Umgebung von feuerspeienden Bergen sich findet [48]. Ueber den Verbleib des doch stets und allerorts von der Erde aufsteigenden Wasserstoffgases ist man noch nicht im Klaren.

d) **Fremdkörper.** Ungemein mannigfaltig und reichhaltig ist die Vermengung unserer Atmosphäre mit festen Körperchen, für deren Gesammtheit man sich der vulgären Bezeichnung Staub bedient. Ehrenberg, Prestel, Tissandier, v. Richthofen u. a. haben Studien über den Staub als atmosphärologischen Faktor angestellt, aber Assmann hat sich das Verdienst erworben [49], monographisch zusammenzustellen, was wir von dem Gegenstande wissen. Was die Grösse der Staubpartikeln anlangt, so schwankt dieselbe zwischen dem mehrere Millimeter dicken Russstücke unserer Fabrikschornsteine und den mit dem Namen des kosmischen Staubes (Kapitel I, §. 2 der vorigen Abtheilung) belegten Verbrennungsprodukten der Meteorite. Eine der Hauptquellen des atmosphärischen Staubes hat man wohl in den verschiedenen Wüstenländern zu erblicken, wie denn die Luft an der Westküste von Afrika häufig eine zimmtfarbige Trübung erleidet, dessen Ursache nach Ehrenberg der mit feinem Detritus und allen möglichen organischen Stoffen vermengte Quarzsand ist. In Spanien heisst der trockene, staubführende Nebel „Calina", in Italien „Caligine". Fallen die Staubmassen mit Regen, Schnee oder Hagel aus der Luft herab, so tritt gefärbter Schnee zu Tage; dass auch lebende Thiere durch Wirbelwinde emporgerissen und später wieder auf die Erde geworfen werden, ist bekannt [50]; gelbgefärbter oder Schwefelregen verdankt diese seine Farbe dem Blüthenstaube [51], während die von dem sogenannten Blutregen gebildeten Residuen Spuren von Eisenoxyd, Kiesel, Thon, Kalk und Kohlensäure erkennen lassen [52]. Auch die Aschenmassen der Vulkane stellen ihr Kontingent (vgl. Band I, S. 350 ff.). Für Mitteldeutschland bringen die in der Atmosphäre schwebenden Fremdkörper zwei bemerkenswerthe, wenn auch nichts weniger als erfreuliche Phänomene zuwege: den Höhenrauch und den Moorrauch, mit Unrecht häufig verwechselt. Der erstgenannte dürfte Assmann's Meinung gemäss dadurch entstehen, dass ein Wirbelsturm Staub in der Luft suspendirt erhält, seine Dauerhaftigkeit ist keine sehr grosse. Um so länger erhält sich der Moorrauch (auch Haar-, Heer-, Haide- und Landrauch genannt), und es ist diess auch sehr erklärlich, wenn man seine Entstehung kennt, über welche zuerst durch die Arbeiten des westphälischen Arztes Finke [53] Licht verbreitet worden zu sein scheint. Die Einwohner Oldenburg's und der hannöverschen Nordgegenden pflegen den sterilen Boden ihrer Heimath dadurch einigermassen zu verbessern, dass sie denselben aufhacken und die so gewonnenen Torfschollen anzünden. Seit 1870 besteht in Bremen der „nordwestdeutsche Verein gegen das Moorbrennen", über dessen Thätigkeit v. Lär Bericht erstattete [54]. In Livland, Finnland und im eigentlichen Russland werden durch das Abbrennen von Sträuchen und Stoppeln ähnliche Nebel („Tuman-yär") erzeugt, und auch die selten ganz fehlenden Waldbrände tragen zur Verfinsterung der Atmosphäre bei. In letzter Instanz ist der Verbrennungsprodukte der Feuerungsanlagen zu gedenken. Tissandier liess Luftmengen, welche er im Inneren der Stadt Paris gesammelt hatte, durch destillirtes Wasser streichen, verdampfte letzteres und prüfte den Rückstand, der bei gutem Wetter für 1 Kilogramm Luft 23 Milligramm Staub ergab und zwar organische Substanzen jeder Art, Chlor- und Schwefelverbindungen, alkalische

Erden, Ammoniaknitrat, Eisenoxyd, kohlensauren Kalk, Magnesiumkarbonat, Phosphate, Kiesel und sonst noch allerlei. Mascart und Aitken gehen soweit, dem Staub in der Luft bei der Bildung von Wolken und Niederschlägen eine integrirende Rolle zuzuweisen. Die medicinische Bedeutung des Staubes ist eine doppelte: einmal, indem derselbe die sogenannten „Gewerbekrankheiten" bewirkt, dann aber auch, indem er als der eigentliche Träger und Verbreiter der Miasmen erscheint. Hierüber giebt das Schlusskapitel dieser Abtheilung einige Aufschlüsse.

e) **Wasser in der Atmosphäre.** Ohne dem Auge sichtbar zu werden, befindet sich zu allen Zeiten und an allen Orten Wasserdampf in der Atmosphäre, bestehend aus winzigen Bläschen, über deren Beschaffenheit schon viel gestritten worden ist. F. Roth hat durch Betrachtungen optischer Natur es wahrscheinlich zu machen gewusst [55], dass die kleinsten, selbstständig existirenden Theilchen sowohl des Wasserdunstes, als auch aller anderer in der Atmosphäre entstehender Niederschläge und Kondensationsprodukte nicht hohle, sondern massive Flüssigkeitskügelchen sind. Das Wasser kann auf zweierlei Weise in den dampfförmigen Zustand übergeführt werden, durch den gewaltsamen Process des Siedens und durch den natürlicheren Akt der Verdunstung [56], welch' letzterer nicht einmal die Oberfläche des Eises sich zu entziehen vermag. Welches aber auch die Ursache sein möge, in jedem Falle kann jene Umformung nur dadurch geschehen, dass eine gewisse Arbeit geleistet wird, und nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie wird zu dieser Arbeitsleistung ein entsprechendes Quantum Wärme konsumirt. Man nennt diese Wärme die latente Wärme — richtiger ausgedrückt „Ausdehnungswärme" — des Dampfes, das Thermometer verbleibt solange unverrückt auf seinem Standpunkte, bis diese auf Molekulararbeit verwendete Wärme ihre Arbeit auch wirklich gethan und das Wasser in Dampf verwandelt hat. Bekanntlich versteht man unter Wärmeeinheit oder Kalorie jene Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit, d. h. 1 Kilogramm, reinen Wassers von 0° auf 1° des hunderttheiligen Thermometers erhöht; diess festgehalten, hat die Untersuchung ergeben, dass bei 0° die latente Wärme 607, bei 100° dagegen blos 537 Kalorieen beträgt, dass also die latente Wärme mit der Verdampfungstemperatur abnimmt. Die Quantität Wasserdampf, welche ein Raum von vorgegebener Grösse zu fassen im Stande ist, zeigt sich hiernach von der Temperatur abhängig. Wenn ein bestimmtes Luftvolumen soviel Wasserdampf in sich aufgenommen hat, als es bei der herrschenden Temperatur überhaupt aufnehmen kann, so sagt man, es sei mit Wasserdampf gesättigt; alsdann üben die Dämpfe den grösstmöglichen Druck nach allen Seiten hin aus, der Wasserdampf ist an dem Maximum seines Druckes (seiner Spannkraft) angekommen, die Temperatur hat, wenn dieser Fall eintrat, den Thaupunkt erreicht. Die Menge des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes kennzeichnet die absolute Feuchtigkeit; „unter relativer Feuchtigkeit versteht man dagegen das Verhältniss zwischen der Dampfmenge, welche die Luft wirklich enthält, und der Dampfmenge, welche sie bei der herrschenden Temperatur enthalten könnte, oder, was auf dasselbe herauskommt, das Verhältniss zwischen dem Druck,

den die Dämpfe wirklich üben, und dem Druck, den sie üben würden, wenn die Luft bei der stattfindenden Temperatur mit Dampf gesättigt wäre" [57]. Einer von Regnault herstammenden empirischen Formel zufolge wird die Spannkraft p des Wasserdampfes, kraft welcher derselbe auf einen Quadratcentimeter einen Druck von 0,0013596 p Kilogramm ausüben würde, aus der Temperatur t dadurch hergeleitet, dass man

$$\log p = 6{,}2640348 - \text{num}\log 0{,}1397743 \,.\, \text{num}\log (0{,}9940493 - 1)^{t+20}$$
$$- \text{num}\log 0{,}6924351 \,.\, \text{num}\log (0{,}9983438 - 1)^{t+20}$$

setzt, wobei die Logarithmen als dekadische zu gelten haben.

§. 3. **Die Ausscheidungen und Niederschläge des Wasserdampfes.** Jede Abkühlung der Luft verringert ihr Vermögen, Wasserdampf zu bilden, bei einer gewissen Abkühlung sinkt die Temperatur auf den Thaupunkt, und sowie auch jetzt noch der Luft Wärme entzogen wird, so muss sich ein Theil des Wasserdampfes wieder in die tropfbarflüssige oder unter Umständen auch in die feste Aggregatform zurückverwandeln, während nur soviel wirklicher Wasserdampf noch als solcher zurückbleibt, um die Luft bei der augenblicklich herrschenden niedrigeren Temperatur zu sättigen. Jede solchergestalt ausgeschiedene Wasserquantität repräsentirt einen sogenannten Niederschlag: ihm muss ein Kondensationsprocess vorhergegangen sein. Die vorher latent gewordene Wärme wird jetzt natürlich frei und bewirkt dadurch eine Verlangsamung der Abkühlung und damit zugleich auch eine Verzögerung der Niederschlagsbildung. Diese selbst aber kann sehr verschiedene Formen annehmen, welche wir nunmehr, im Wesentlichen nach Mohn [58], gesonderter Betrachtung unterziehen wollen.

a) **Thau, Reif und Nachtfrost.** Wie Jamin berichtet [59], waren die Physiker bis tief ins XVIII. Jahrhundert herein darüber unschlüssig, ob der Thau vom Himmel herabfalle oder erst an der Erde sich bilde. Die erste richtige Antwort auf diese strittige Frage gab (a. a. O.) Le Roi, ein sonst wenig bekannter Professor in Montpellier, mit den Worten: „Quand on expose à l'air une couche d'eau dans une vase, elle disparaît bientôt. C'est un phénomène simple, qui nous est aujourd'hui parfaitement connu. Nous savons que l'eau se change en une vapeur, qui est un gaz véritable, aussi transparent que l'air, se mêlant à lui sans qu'on voie." Ebenso unbemerklich trete das Wasser wieder aus der Atmosphäre zurück und erscheine dann als Thau, als ein Konglomerat flüssiger Tropfen an den unebenen, namentlich an den mit Pflanzenwuchs bedeckten Stellen der Erdoberfläche. Erst Wilson und Six scheinen aber auch den für die Erklärung der Thaubildung nothwendigen Nachtrag geliefert zu haben, darin bestehend, dass in klarer Nacht die Bodenfläche, wie die Pflanzen eine weit kühlere Temperatur besitzen, als die umgebende Luft. Im Jahre 1813 stellte Wells, auf seine langjährigen Versuche gestützt, die jetzt noch gültige Theorie auf [60]; seine Schrift ward in's Deutsche übertragen [61] von Horner, der sich in einem Briefe an Huber also vernehmen liess [62]: „Mich sprach das Verständige, Gründliche in Wells' Arbeit über den Thau und der Scharfsinn seiner

Raisonnements in hohem Grade an; es ist ein wahres Muster der Naturforschung." Mit Jamin [63] dürfen wir es aussprechen, dass die Frage heute als bis in ihre Einzelheiten geklärt erscheint: Die Ausstrahlung der Erde bewirkt eine Temperaturverminderung in den dem Erdboden nächst anliegenden Schichten, und zwar in dem Maasse mehr, als dem Himmel die Wolkenbedeckung fehlt; die schwere kalte Luft breitet sich wie eine Flüssigkeit längs der Oberfläche aus und lässt, sobald die Abkühlung über den Thaupunkt hinausgegangen ist, einen Theil des bisher getragenen Wasserdampfes an hervorragenden Punkten austreten. Von einem Fallen des Thau's kann also eigentlich nicht die Rede sein *). Gesetzt nun, dass der Boden gerade an jener Stelle, an welcher sich eben ein Thautröpfchen bilden will, bereits unter den Gefrierpunkt erkaltet ist, so gefriert das Wasserkügelchen sofort, es bilden sich jene kleinen Eiskrystalle, welche man Reif („Givre", „Rime") nennt. Diese naturgemässe Erklärung dürfte Scheuchzer zuerst gegeben haben [64]; derselbe wusste zwar noch nicht recht, was der Thau sei, bezeichnete aber den Reif als gefrorenen Thau. Grundsätzlich nicht verschieden ist der Nachtfrost oder Haarfrost („Hoar-Frost"), welcher alle etwas hervorragenden Körper mit einer dünnen Eisdecke überkleidet; die Einerleiheit beider Gattungen von Reif sprach bereits Kämtz [65] aus. Der Landmann fürchtet die den Gewächsen anklebenden Eisnadeln sehr und sucht sich dagegen durch Schutzmaassregeln zu sichern, deren Bedeutung Mohn wohl richtig mit nachstehenden Worten kennzeichnet [66]: „Da die nächtliche Ausstrahlung bei wolkenfreiem Himmel am stärksten ist, sucht man in klaren Nächten die Feldfrüchte vor dem Einflusse des Nachtfrostes oft dadurch zu schützen, dass man den Rauch brennender Reisighaufen über den gefährdeten Acker hinziehen lässt. Der Rauch dient in diesem Falle nicht zur Erwärmung der Luft, sondern wirkt nach Art einer Wolke, welche die ausstrahlende Wärme wieder zur Erde zurückwirft, oder wie die Fenster und Decken über einem Mistbeete, welche in gleicher Weise wirken."

b) **Nebel und Wolken.** Wir haben es hier ausschliesslich mit jenen Luftgebilden zu thun, welche die ältere Meteorologie feuchte Nebel nannte, indem die trockenen Nebel nur von der Ansammlung von Fremdkörpern in der Atmosphäre herrühren und deshalb schon im vorigen Paragraphen ihre Erledigung gefunden haben. Wie schwierig auch in diesem einfachen Falle die Anbequemung an das Einfache und Naheliegende Vielen gefallen ist, darüber belehrt uns zur Genüge Muncke's an Literaturnachweisen reicher Lexikon-Artikel [67]. In Wirklichkeit entsteht ein Nebel dann, wenn feuchte Winde über eine relativ kältere Strecke der Erdoberfläche hinstreichen, oder wenn umgekehrt die Oberfläche eines Gewässers wärmer ist, als die darüber wehende Luft [68]. In die erstgenannte Kategorie gehören die berüchtigten Polarnebel, welche sich bis Newfoundland und in die

---

*) Dass die unter dem Namen Mehl- und Honigthau bekannten Pflanzenkrankheiten mit dem wirklichen Thau des Himmels nichts zu thun haben, sondern theils thierischen Parasiten, theils unnatürlichen Wucherungen zugeschrieben werden müssen, dürfte heute eine auch dem Volke bekannte Thatsache sein, während noch 1828 ein ganz tüchtiger Physiker, Siber, der Atmosphäre ihren Antheil daran retten wollte.

Hudsonsbay herabziehen, während umgekehrt die englischen Nebel, zu deren Verdickung freilich auch die grossen Industriecentren redlich mitwirken, auf den warmen Golfstrom zurückgeführt werden müssen. Nicht minder darf man das Dampfen der Flüsse und Seen, sowie das Rauchen der Berge hierher rechnen. Wenn nun schon die Nebel aus ausgeschiedenem Wasserdampfe bestehen, der in Gestalt kleiner Bläschen in der Luft schwebend erhalten wird, so gilt diess noch mehr für die in den höheren Luftschichten sich bildenden Wolken; liegt der Heerd der Wolkenbildung in hohen und deshalb kalten Partieen der Atmosphäre, so gerinnt der ausgeschiedene Wasserdampf sofort zu kleinen Eisnadeln, die aber ihrer geringen Dichte halber gleichwohl nicht zur Erde fallen, sondern schweben bleiben und ebenfalls Wolken bilden können. Die gewöhnliche Veranlassung zur Entstehung einer Wolke bildet ein aufsteigender Luftstrom, der viele Wasserdämpfe mit sich führt, die unterste Grenze der Wolkenregion pflegt durch die Höhe bestimmt zu sein, bei welcher die aufsteigende Luft ihren Thaupunkt erreicht [69]. Dass Gebirge die Luft zwingen, an ihren Abhängen in die Höhe zu steigen, leuchtet ein; dabei wird der Luft ihr Wasserdampf entzogen, die Berggipfel wirken als Kondensatoren, und ihr Haupt erscheint sehr häufig in einer Wolkenverhüllung *). Die Höhe der Wolken zu messen, ist schon vielfach versucht worden, aber erst in allerneuester Zeit mit einigem Glücke. Riccioli schlug zu diesem Zwecke ein Verfahren vor [70], analog dem im ersten Bande, Seite 80, für die Sternschnuppen und im vierten Kapitel der vorigen Abtheilung für die Nordlichtkrone geschilderten. Jakob Bernoulli suchte sich von der Nothwendigkeit, noch einen zweiten Beobachter hinzuzuziehen, zu emancipiren; er fordert [71], dass man Abends, unmittelbar nach Untergang der Sonne, die Punkte einer bestimmten Wolke durch Azimut und Höhe fixiren solle, welche eben aufhören, erleuchtet zu werden, und in der That ist, da man ja auch den Ort der Sonne im fraglichen Augenblicke kennt, die Höhenbestimmung auf ein einfaches Problem der Raumtrigonometrie zurückgebracht. Grunert gab die betreffenden expliciten Formeln wirklich an [72], zugleich die Einwirkung der terrestrischen Refraktion korrigirend. Sehr brauchbar für den isolirten Beobachter, dem es an grösseren Instrumenten gebricht, ist die Prestel'sche Methode [73], doch ist dabei vorausgesetzt, dass die Wolke einen in der Ebene genau sich abgrenzenden Schlagschatten werfe, dessen kürzester Abstand vom Beobachter gleich b sein möge. Wenn sich der Ortskundige den Endpunkt des Schattens genau merkt, so kann er b mit Hülfe einer Spezialkarte ausreichend genau bestimmen; diess geschieht jedoch erst später, denn der Beobachter hat gleichzeitig mit jener ersten Wahrnehmung auch die Winkelhöhe α' des schattenwerfenden Wolkenrandes W (Fig. 19) mit einem Spiegelsextanten zu messen, während er dann noch die Sonnenhöhe α einer astronomischen Tabelle zu entnehmen in der Lage ist. Man denke sich nun von W auf die Horizontalebene

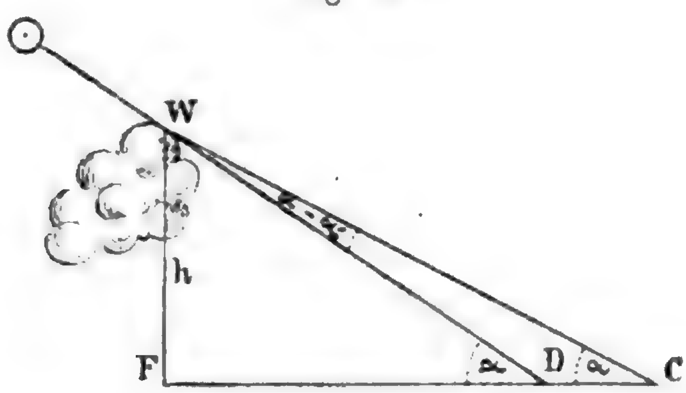
*) Man weiss, dass das Aussehen einzeln aufragender Berge da und dort als Wetterzeichen gilt; in Luzern z. B. beurtheilen Wolkenkundige den Stand der Witterung danach, ob der Pilatus einen „Hut", einen „Kragen" oder einen „Degen" trage. Dasselbe pflegen die Triestiner von ihrem Wetterzeiger, dem Nanos bei Adelsberg, zu sagen.

das Loth WF = h gefällt, während C den Standort des Beobachtenden, D den Endpunkt des Schattens, CD also die obige Strecke b vorstellt. Dann ist h = DW . sin α, und das Dreieck CDW liefert die Proportion DW : CD = sin α' : sin (α — α'). Setzt man den hieraus folgenden Werth von DW ein, so ergiebt sich

$$h = \frac{b \sin \alpha \sin \alpha'}{\sin (\alpha - \alpha')}.$$

Prestel hat auf diese Weise für kompakte, weissrandige Haufenwolken Minimalhöhen von 2500 m bis 4100 m gefunden. Im Allgemeinen variirt die Höhe der Wolken bedeutend; nicht selten reichen dieselben bis hart an die Erdoberfläche, während Pouillet nach Höhen von 12315 m gemessen haben wollte [74]. Für hoch schwebende Wolken dürfte sich die photogrammetrische Methode (I. Band,

Fig. 19.

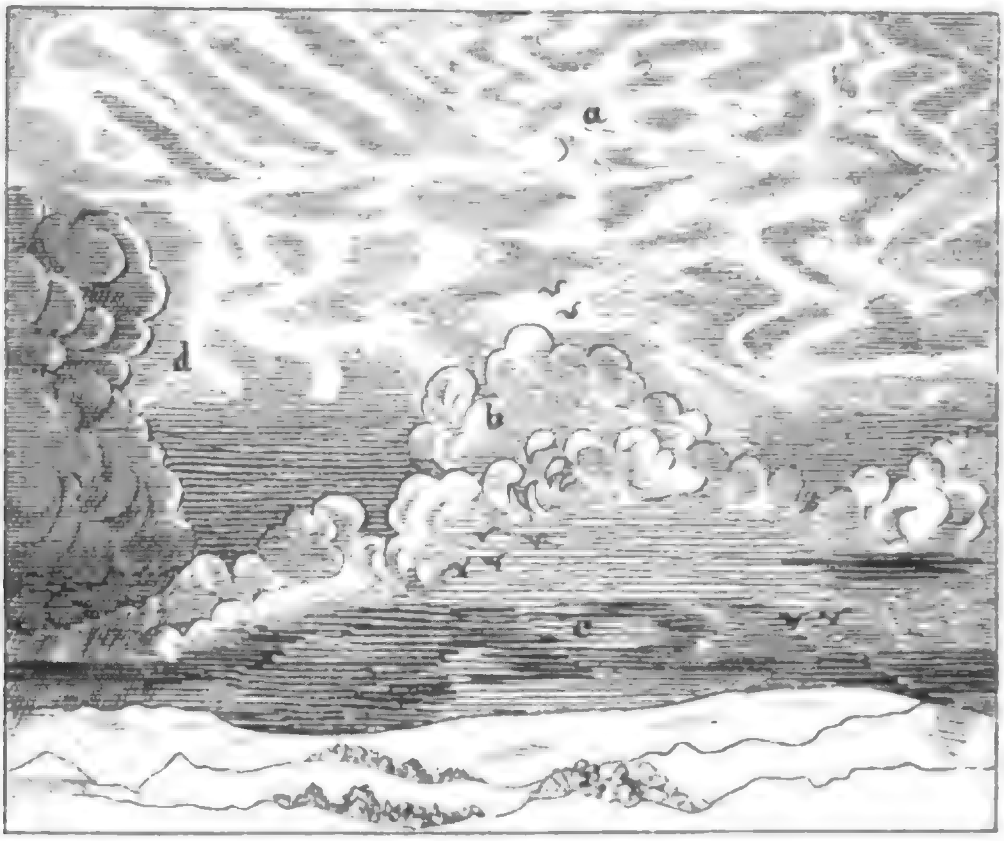


S. 286) empfehlen, um deren Ausbildung für den uns hier beschäftigenden Zweck sich Feussner [75] und Zenker [76] verdient gemacht haben; letzterer verfolgt allerdings die allgemeinere Tendenz, photographisch die Schichtungen und Bewegungen der Luftmassen festzulegen und die Physik der Wolken mit neuen Thatsachen zu bereichern, deren Erkenntniss sich dem blossen Auge entzieht. — Eigenthümliche Schwierigkeiten verursachte die Schaffung einer konsequenten und anschaulichen Terminologie für die Wolkenkunde, hauptsächlich wohl deshalb, weil subjektive Eindrücke hier einen ganz besonders störenden Einfluss ausüben können. Der gründlichste Fachkenner, Cl. Ley, sagt geradezu [77]: „Die Wolkenbeobachtung ist in grossem Maasse eine nicht mittheilbare Kunst.“ So wenig trostvoll diess klingt, so werden wir doch sehr bald sehen, dass doch eben unter Ley's thatkräftiger Mitwirkung gerade der deskriptive Theil dieser meteorologischen Theildisciplin nicht unerhebliche Fortschritte gemacht hat. Bahnbrechend gieng in dieser Richtung zu Beginn des laufenden Jahrhunderts Luke Howard vor [78], dessen Nomenklatur unsere Fig. 20 zu versinnlichen sucht*). Er unterscheidet drei Hauptarten, die Feder-

*) Unser Tableau ist dem entsprechenden in J. Müller's „Kosm. Physik“ nachgebildet. Ohne Zuhülfenahme der Illuminirung ist ein besseres Bild nicht wohl herzustellen, und wir müssen uns deshalb begnügen, auf die im Geschmacke der besten Landschaftsmalerei ausgeführten Darstellungen der Wolkenformen zu verweisen, welche einerseits im ersten Jahrgange des „Arch. d. d. Seewarte“ und andererseits in dem uns bereits bekannten Werke der englischen Meteorologen enthalten sind. Die letzteren verdankt man natürlich Ley.

wolke oder Cirrus (a der Figur), aus zarten, streifen- oder federartigen Fasern bestehend, die Haufenwolke oder Cumulus (b der Figur), deren halbkugelförmige Massen auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen, und die Schichtwolke oder Stratus (c der Figur), horizontale Wolkenstreifen, denen die untergehende Sonne oft die prächtigsten Färbungen verleiht. Die Uebergänge zwischen diesen drei Hauptarten werden durch Zwischenformen gebildet, als welche Howard die fedrige Haufenwolke oder Cirro-cumulus („Schäfchenwolke"), die fedrige Schichtwolke oder Cirro-stratus und die streifige Haufenwolke oder Cumulo-stratus angesehen wissen will. Letztere Wolke geht zuletzt in die blauschwarze Regenwolke oder

Fig. 20.



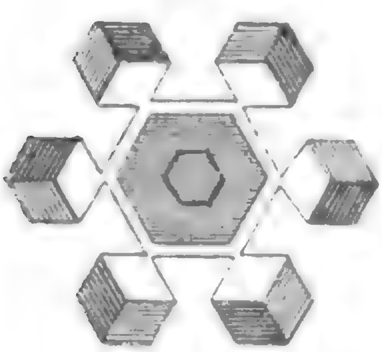
Nimbus (d der Figur) über. Für gewöhnliche Zwecke reicht man mit diesen geschickt gewählten Bezeichnungen recht gut aus, allein die fortschreitende Wissenschaft, welche sich der Wolkengestalten auch für die Wetterprognose bedienen möchte, bedurfte feinerer Unterscheidungsmerkmale. So sind denn Poëy [79], Weihrauch [80] und Ley [81] mit erneuten Klassifikationsvorschlägen hervorgetreten, welche einer „internationalen Wolkenkommission" zur Begutachtung vorgelegt werden sollen. Von Wichtigkeit ist die Neuerung nur für die Cirruswolken. Ley's Kunstwörter sind folgende: Gewöhnlicher Cirrus oder Schweifwolke („curl-cloud"), Cirro-filum oder Drahtwolke („gossamer-cloud"), Cirro-velum oder Schleierwolke („veil-cloud"), Cirro-nebula oder Federwolkennebel („veil-haze"), Cirro-granum oder Schäfchenwolke („granular-curl-cloud"). Weihrauch hält dafür, dass man mit Howard's Namen auskommen könne, wenn man denselben nach Poëy's Cirro-pallium, den Federwolkenmantel, hinzufüge. Jedenfalls hat Ley seiner Sache dadurch trefflich Vorschub

geleistet, dass er (a. a. O.) gleich fünf für die Wettertelegraphie geeignete Zahlenskalen zur Angabe der Formen, Menge, Richtung, Bewegungsgeschwindigkeit und Mächtigkeit der Wolken in Vorlage brachte. Gewöhnlich begnügt man sich, durch einen Bruch anzugeben, einen wie grossen Theil des mit 1 bezeichneten Firmamentes die Wolken einnehmen. Die Beziehungen dieses als Bewölkungsgrösse bekannten meteorologischen Elementes zur Dynamik der Luftbewegungen werden uns erst später klar werden (vgl. Kap. VI). Noch fehlt es an Material für diese Studien, und es sind deshalb Schriften sehr zu schätzen, wie die unlängst von L. Meyer herausgegebene: Die Bewölkung in Württemberg, Stuttgart 1884.

c) **Regen und Schnee.** Es ist schwer zu glauben, dass man in wissenschaftlichen Kreisen auch dann noch, als man über die Natur von Thau und Reif, Nebeln und Wolken bereits zu vollkommener Klarheit durchgedrungen war, trotzdem noch die ernsthaftesten Diskussionen über das Wesen des Regens pflegen zu müssen glaubte. Deluc und Lichtenberg, der jüngere Tobias Mayer und Zylius betheiligten sich hauptsächlich an diesem Streite; eine gute Uebersicht über den springenden Punkt desselben, ob nämlich das Wasser blos „verdampfe“ oder sich ganz und gar in der Luft „auflöse“, gewährt eine Abhandlung [82] des letzterwähnten Gelehrten. In Wirklichkeit ist der Process der Regenbildung demjenigen der Thaubildung vollkommen analog. Eine Wolke ist, wie wir wissen, schon dadurch entstanden, dass der in der Luft enthaltene Wasserdampf sich verdichtete; tritt nun abermals in jener Wolke eine rasche Verdichtung des Wasserdampfes ein, so wird tropfbarflüssiges Wasser in Form von Regentropfen ausgeschieden; zu schwer, um noch von der Luft getragen werden zu können, fallen dieselben auf die Erde herab. War die Temperatur in dem Momente, in welchem die Verdichtung eintrat, bereits unter den Gefrierpunkt herabgesunken, so gefriert das ausgeschiedene Wasser unverzüglich, der Niederschlag erscheint als Schnee. Den Umstand, dass die als Schneeflocken bekannten Eiskrystalle stets in sehr regelmässigen geometrischen Formen auftreten, hatte bereits Kepler bemerkt, der darüber eine eigene Schrift von 24 Quartseiten verfasste [83] und die Hauptgestalten folgendermassen ganz richtig darin kennzeichnete: „Contemplatus sum sedulo corpuscula nivis; cadebant igitur omnia radiosa, sed duorum generum, quaedam minuta valde radiis circumcirca insitis incerto numero et simplicibus, sine villis, sine striis, erantque subtilissimi in centro vero colligati ad grandiusculum globulum, atque horum erat maxima pars. Interspargebantur autem secundi ordinis rariores sexangulae stellae, earumque nulla aliter nisi plana neque volitabat, neque cadebat.“ Später, als die Krystallographie sich entwickelt hatte, konnte man feststellen, dass alle Eiskrystalle gerade Prismen sind, deren beide Grundflächen das regelmässige Sechseck zur Grundform haben; wie bizarr auch die Umrisse eines einzelnen Individuums sein mögen, andere Winkel als von 30°, 60° und 120° sind daran kaum jemals zu konstatiren. Eine ganz ähnliche „mineralische Vegetation“ zeigt sich bei'm Gefrieren der Fensterscheiben, wie man denn in der That häufig von Eisblumen spricht; Mairan hat sich mit denselben zuerst wissenschaftlich befasst [84], und Muncke wies durch Versuche nach [85],

„dass der eigentliche Typus der Eisform desto bestimmter hervortritt, wenn die Operation mit möglichster Langsamkeit und Ruhe vor sich gehen kann.“ Im vorigen Jahrhundert bildeten die Schnee- und Eiskrystalle einen Gegenstand eifrigen Studiums für Physiker und Mikroskopiker, unter denen besonders der Holländer Engelman [86] sich hervorthat, doch wurden alle früheren Mittheilungen in den Schatten gestellt durch diejenigen des Polarfahrers Scoresby, der aus dem reichen Schatze seiner Autopsie schöpfen konnte [87]. Und wiederum über ihn hinaus gieng Glaisher, der auf seinen grossartigen — in einem besonderen Werke [88] beschriebenen — Luftschifffahrten die Entstehung der Eisnadeln unter Bedingungen beobachten konnte, wie sie nicht günstiger zu denken sind. Tyndall bildet nach Glaisher vierzehn Formen von Schneekrystallen ab [89], die sämmtlich auf das Lebhafteste an die unter dem Kaleidoskope sich bildenden Arabesken gemahnen. Unsere Fig. 21 giebt eine der merkwürdigsten wieder.

Fig. 21.



Symmetrische Sterne mit 3, 4, 12 und 18 Zweigen, anstatt der gewöhnlichen 6, kommen als Ausnahmen wohl auch vor, aber nur ein einziges Fünfzack figurirt unter den massenhaften Zeichnungen, welche Engelman (s. o.) nach der Natur angefertigt hat. Genauere Nachweisungen über die Krystallform des Eises findet man auch im 3. Jahrgang von Berzelius' Jahresbericht über die Fortschritte der physikalischen Wissenschaften (deutsch von Gmelin, Tübingen 1824); dieselben stimmen zu dem bereits Gesagten. Der Brechungsexponent des Eises fällt zwischen die Grenzen 1,3043 und 1,3172 (nach Bravais).

d) **Fallende Eisstücke.** Statt zarter Schneeflocken fallen bekanntlich nicht selten auch kompakte Eismassen aus den Wolken nieder. Sowohl nach der physikalischen Ursache, wie auch nach der petrographischen Beschaffenheit dieser Eisstücke haben wir jedoch auch hier ganz verschiedene Modalitäten zu unterscheiden. Der Eisregen kann vielfach nur eine durch Intensität ausgezeichnete Abart des gewöhnlichen Schneefalles sein, indem die unteren Schichten kälter sind, als die oberen, so dass bei'm Durchfallen der ersteren die Kryställchen rasch an Grösse zunehmen. Diese Bewandtniss dürfte es wohl mit einem von Merian einlässlich geschilderten Phänomen [90] gehabt haben. Den Uebergang vom Eisregen zum eigentlichen Hagel vermittelt der Graupelfall; wir müssen uns jedoch an dieser Stelle bescheiden und können auf diese für die Naturforschung noch immer ziemlich räthselhaften Erscheinungen erst dann wieder zurückkommen, wenn wir uns zuvor mit den elektrischen Eigenschaften unseres Luftkreises einigermassen bekannt gemacht und zugleich den dynamischen Charakter der Luftbewegung studirt haben. Diess wird aber im vierten und sechsten Kapitel erst geschehen können.

§. 4. **Aërostatische Grundgesetze.** Im vierten Buche seiner „Physik“ beschreibt Aristoteles einen Versuch, mittelst dessen ein in einer Blase eingeschlossenes Luftquantum seinem Gewichte nach bestimmt

werden sollte, und wenn auch der Versuch einem principiellen Missverständnisse unterworfen ist, so liegt doch soviel am Tage, dass der Stagirit die Luft als einen mit Schwere begabten Körper erkannt hat. Nikolaus von Cusa wollte in ähnlicher Weise durch die Wage erforschen [91], ob die Luft an Feuchtigkeit zu- oder abgenommen habe. Die Entdeckung des Luftdruckes ist ein Verdienst von Galilei's tüchtigem Schüler Torricelli. Die bei den Saugpumpen und Hebern schon längst bemerkte Eigenschaft, dass in einen luftleeren Raum die unter demselben befindliche Flüssigkeit hineinströmt, hatte Aristoteles durch seinen bekannten „Horror vacui" erklärt, und Heron Alexandrinus war ihm darin nachgefolgt. Als nun aber florentinische Brunnengräber im Jahre 1630 die Wahrnehmung machten, dass das Wasser im Pumpenrohre nicht höher als 18 Ellen steigen wolle, glaubte Galilei, dass der Abscheu der Natur vor dem Leeren an Grenzen gebunden sei; die oft gehörte Meinung, dass er es besser gewusst habe und nur die Scholastiker verspotten wollte, ist bereits von Montucla [92] treffend widerlegt worden. Vielmehr war es Torricelli im Jahre 1643, also erst im Jahre nach dem Tode des Meisters, vergönnt, den wahren Grund jener dunklen Erscheinung anzugeben. Veröffentlicht hat er selber nichts darüber, vielmehr begnügte er sich, in Briefen an Viviani und Ricci seine Gedanken niederzulegen [93], auf welche wir weiter unten bei'm Barometer zu sprechen kommen werden. Nahe gleichzeitig stellte Otto v. Guericke seine bekannten Experimente über die Herstellung eines luftleeren Raumes an; vergleicht man an der Hand von Hochheim's eingehendem Berichte [94] die einzelnen Entwickelungsstadien in dieser langen Versuchsreihe, so erkennt man mit Befriedigung, wie mit jedem Schritte in der Vervollkommnung der Experimentirtechnik auch ein intellektueller Fortschritt in aërostatischer Beziehung verknüpft war.

Das Gesetz, nach welchem der Druck der Luft sich ändert, scheint vor Mariotte bereits von Boyle bei der Wiederholung der Guericke'schen Grundversuche aufgefunden worden zu sein [95], allein für gewöhnlich trägt es den Namen des Ersteren, der es zur Grundlage einer 1676 veröffentlichten Schrift machte (96]. Mariotte's Gesetz besagt: Der Druck, welchen ein Luftquantum allseitig ausübt, ist proportional der Dichte der Luft. Durch Versuche von Arago, Regnault und Swensen ist später der Nachweis geführt worden, dass dieses Gesetz allerdings in sehr weiten Grenzen und für alle Gase gilt, nur jedoch als eine Näherung, nicht als der absolut genaue Ausdruck des wirklichen Verhaltens der Atmosphäre. Da die Dichte eines Gases durch die Temperatur bedingt ist, so muss natürlich auch dieser Rechnung getragen werden; diese Korrektur brachte zuerst Gay-Lussac an, nachdem er die Ueberzeugung gewonnen zu haben glaubte, dass alle Gase sich mit der Temperatur gleich stark ausdehnen [97]. Nach Mariotte wäre die Dichte d mit dem Luftdruck p durch die Gleichung $d = \text{Konst.}\ p$ verbunden; um auch der Temperatur gerecht zu werden, setzt man

$$d = \text{Konst.}\ p \cdot \frac{1}{1 + \alpha t},$$

wo t die Temperatur, α den konstanten Ausdehnungskoefficienten der

Gase bezeichnet, und diese Relation ist bekannt als das Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac.

Es ward früher (Band I, S. 320) bemerkt, dass neuerdings Vorschläge zur Erweiterung und Verbesserung dieses Gesetzes von Biehringer und M. Kuhn ausgegangen seien. Fassen wir diese Vorschläge jetzt näher in's Auge. Der Erstere leitet durch ganz elementare Ueberlegungen diese Gleichung her [98]:

$$\frac{q(1+\alpha t)}{pv} : \frac{q'(1+\alpha t')}{p'v'} = s : s'.$$

Hier bedeuten p und p′ zwei verschieden grosse Luftdruckwerthe, v und v′ die entsprechenden Volumina, q und q′ die Absolutgewichte, s und s′ die spezifischen Gewichte, α hat seine Bedeutung nicht geändert, t und t′ sind die Temperaturen. Für $q = q'$ und $s = s'$ erhält man hieraus die minder genaue Gleichung

$$pv : p'v' = (1+\alpha t) : (1+\alpha t'),$$

welche offenbar nur ein anderer Ausdruck für das uns bereits bekannte Mariotte-Gay-Lussac'sche Gesetz ist.

Den allgemeinsten Standpunkt nimmt wohl Kuhn [99] ein, dessen Resultate denn auch mehr und mehr an Stelle der älteren Normen sich einbürgern werden. Er geht von unendlich kleinen Aenderungen der in Betracht kommenden Grössen aus und setzt, die uns geläufige Bezeichnung beibehalten,

$$dp = \alpha_p \,.\, dt \,.\, p, \quad dv = \alpha_v \,.\, dt \,.\, v,$$

wo α_p und α_v zwei konstante, wenn auch nach den Untersuchungen Regnault's unter sich verschiedene Zahlen bedeuten. Durch Addition findet man als die vollständige Differentialgleichung der Temperatur

$$dt = \frac{dp}{\alpha_p \,.\, p} + \frac{dv}{\alpha_v \,.\, v}.$$

Die Integration ist leicht und liefert

$$t = \frac{1}{\alpha_p} \,.\, \log p + \frac{1}{\alpha_v} \,.\, \log v + \text{Konst.}$$

Geht man aber von den Logarithmen zu Exponentialgrössen über, so kann man, wenn man unter p_0 und v_0 gewisse empirische Fixgrössen versteht, der letzten Gleichung auch die folgende Form ertheilen ($e = 2{,}78\ldots$):

$$p^{\alpha_v} \,.\, v^{\alpha_p} = p_0^{\alpha_v} \,.\, v_0^{\alpha_p} \,.\, e^{\alpha_v \cdot \alpha_p \cdot t},$$

und diese ist es eben, durch welche Kuhn das Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac ersetzt sehen möchte.

Als eine Ergänzung zum Mariotte'schen Gesetze kann angesehen werden, was Schlemüller fand. Indem derselbe die Principien der kinetischen (Clausius-Boltzmann'schen) Gastheorie speziell für die Atmosphäre verwerthete, gelangte er zu dem Lehrsatze [100]: „Die Drücke in zwei verschieden hohen Punkten verhalten sich zu einander, wie die sechsten Potenzen der absoluten Temperaturen." Originell der Ableitungsweise nach, war dieser Satz gleichwohl sachlich nicht mehr ganz neu, denn v. Bauernfeind hatte, wie er der Schlemüller'schen Publikation gegenüber darthat [101], schon

früher durch eine eigenthümliche Kombination von Rechnung und Beobachtung eine allgemeinere Relation erhalten. Wenn nämlich T und T' die absoluten Temperaturen in den Höhen h und h' bedeuten, so ist nach v. Bauernfeind (wegen d, d', p, p' siehe oben) allgemein

$$\frac{T'}{T} = \left(\frac{d'}{d}\right)^{K-1} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{h'}{h}\right)^{K'}.$$

K und K' müssen erfahrungsgemäss bestimmt werden, und zwar hatte sich $K = \frac{6}{5}$, $K' = 1$ ergeben, so dass also wirklich die Proportion

$$p' : p = T'^6 : T^6$$

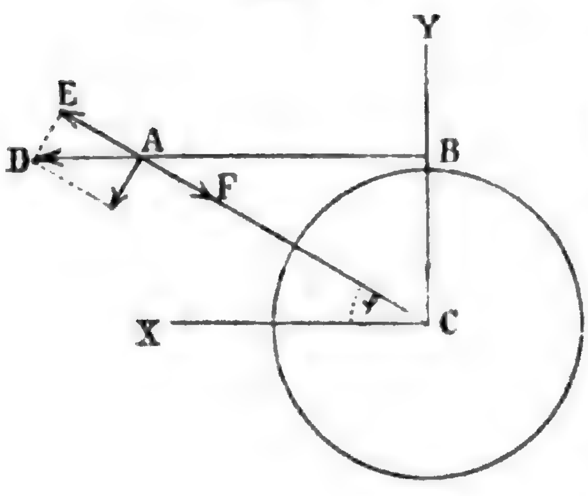
bereits in v. Bauernfeind's generellem Theoreme mit enthalten ist. —

Ehe wir diesen Paragraphen beenden, haben wir noch der Gesetze zu gedenken, nach welchen der der Atmosphäre unter allen Umständen beigemengte Wasserdampf sich richtet. Zu Anfang unseres Jahrhunderts formulirte [102] der englische Chemiker Dalton das seinen Namen tragende Gesetz, welches sich in Kürze etwa so aussprechen lässt: Die unsere Atmosphäre bildenden Materien, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf sind ebenso vertheilt, wie sie es sein würden, wenn jeder dieser Stoffe für sich allein da wäre und keiner auf den anderen wirkte. Muncke bemerkt [103], dass nur wenige Gelehrte, so Henry und Benzenberg, sich mit dieser Hypothese einverstanden erklärt hätten, dass dagegen viele andere, Berthollet, Gough, Tralles u. s. w., sofort als Gegner derselben aufgetreten wären. Den schneidigsten dieser Gegner kannte aber Muncke anscheinend selbst nicht; es ist diess E. G. Fischer, dessen Bekämpfung [104] Dalton's heute noch Beachtung verdient, obwohl er mit der sonderbaren Lehre von einer zwischen Luft und Wasser bestehenden Affinität noch nicht endgültig gebrochen hatte. Neuerdings widmete sich Lamont einer gründlichen Prüfung der ganzen Angelegenheit und stellte dabei folgende Normen auf [105]: Eine für sich bestehende Wasserstoffatmosphäre im Sinne Dalton's ist nicht vorhanden; dass Wasser kommt in der Atmosphäre sowohl als elastischer Dampf wie auch als blosser Dunst vor; der letztere bewirkt keine merkliche Vermehrung des Luftvolumens, wogegen Dampf und Dunst, wenn aus einer gleich grossen Wassermenge hervorgegangen, den Druck der Luft gleichmässig verstärken; der Druck der trockenen Luft wird jedoch nicht etwa dadurch erhalten, dass man vom Barometerstande den am Feuchtigkeitsmesser abgelesenen Dunstdruck einfach subtrahirt.

§. 5. **Die Gestalt der Atmosphäre.** Die alte Auffassung, dass die Erde in einem Luftmeere sozusagen schwämme, ist selbstverständlich unhaltbar. Zu wie sonderbaren Ausschreitungen dieselbe führt, lehrt die Geschichte der coppernicanischen Weltordnung; waren doch unter den Gegnern derselben auch Leute, die behaupteten, dass die innerhalb der Lufthülle sich umwälzende Erde einen furchtbaren Sturmwind erzeugen müsse. In Wirklichkeit ist das Erdellipsoid von einem abgeschlossenen Luftkörper umgeben. Um die Gestalt der Kurve anzugeben, durch deren Umdrehung die jenen Körper gegen den Weltraum abgrenzende Fläche entsteht, muss man natürlich die Theorie

zu Hülfe nehmen. Es würde jedoch zu Irrthümern führen, wenn man, einer von **Laplace** [106] angedeuteten Idee zu rasch Folge gebend, etwa so schliessen wollte: Jener Grenzkurve gehören alle diejenigen Punkte an, für welche Centrifugal- und Anziehungskraft einander gleich sind. Sei nämlich (Fig. 22) C der Mittelpunkt der Erdkugel vom Radius R, A ein Punkt der gesuchten atmosphärischen Grenzkurve, und zwar sei dieser Punkt bestimmt durch den Fahrstrahl $CA = r$ und durch den Winkel φ, welchen dieser Strahl mit der in der Aequatorialebene gelegenen Geraden CX bildet. Um den Radius des von A alltäglich beschriebenen Kreises zu erhalten, fälle man aus A auf die Erdaxe CY das Loth $AB = r \cos \varphi$; dann ist, die Winkelgeschwindigkeit der Erde $= \omega$ gesetzt, die radiale Komponente AE der Centrifugalbeschleunigung AD des in B befindlichen Massentheilchens m gegeben durch $m\omega^2 r \cos^2 \varphi$, wogegen die Attraktion der Erdmasse M ersterem die Beschleunigung $AF = k \cdot \frac{mM}{r^2}$ ertheilen würde, wo k den bekannten Attraktionsfaktor bedeutet. Es wäre also

Fig. 22.



$$m\omega^2 r \cos^2 \varphi = k \cdot \frac{mM}{r^2}; \quad r^3 = \frac{\text{Konst.}}{\cos^2 \varphi},$$

welch' letztere Gleichung diejenige der gesuchten Grenzkurve in Polarkoordinaten darstellen würde. Für $\varphi = 90^0$ ist aber $\cos^2 \varphi = 0$, r also $= \infty$, und damit wäre gesagt, dass die Kurve die Axe der Erde niemals schneiden, dass also senkrecht über den Polen die Atmosphäre sich ins Unendliche erstrecken würde. Davon kann begreiflicherweise keine Rede sein, da im Gegentheile die Atmosphäre unter den Polen eine geringere Höhe besitzen muss, als unter dem Aequator.

Der hier begangene Fehler liegt darin, dass von dem Charakter der Luft als einer elastischen Flüssigkeit, also auch von ihrem Drucke vollständig abgesehen ward. F. **Neumann** zeigt [107], dass dieser Druck p nach bekannten Sätzen der analytischen Mechanik für den Punkt A unserer Figur durch folgende Differentialgleichung auszudrücken ist:

$$\frac{dp}{p} = \frac{\varepsilon}{P}\left[gR^2 d\left(\frac{1}{r}\right) + \frac{4\pi^2}{T^2}(x dx + y dy)\right].$$

Hier bedeutet ε die Dichtigkeit, welche die Luft am Meeresniveau unter der Breite φ besitzt, wenn sie dem Normaldrucke P unterliegt, g ist die Fallbeschleunigung, T die Tagesdauer, x und y sind resp. $= r \cos \varphi$ und $r \sin \varphi$ zu setzen. Integrirt man zwischen den Grenzen r und r_1 und drückt die links hinzuzufügende Konstante durch $(-\log p_1)$ aus, so findet man

$$\log \frac{p}{p_1} = \frac{\varepsilon}{P}\left[gR^2\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right) + \frac{2\pi^2}{T^2}(r^2 \cos^2 \varphi - r_1^2 \cos^2 \varphi_1)\right].$$

Für eine bestimmte Gleichgewichts- oder Niveaufläche (vgl. I. Band,

S. 193) ist $p = p_1$, log 1 aber ist $= 0$, und wenn man noch einen Punkt am Pole betrachtet, für welchen $\cos \varphi_1$ ebenfalls sich annullirt, so bleibt die Gleichung

$$\frac{1}{r} = -\frac{1}{r_1} + \frac{2\pi^2}{T^2} \cdot \frac{r^2 \cos^2 \varphi}{g R^2}.$$

Wenn A in der Grenzfläche liegt, welche Wasser und Luft trennt, so ist $r_1 = R$, und unsere zuletzt erhaltene Gleichung wird:

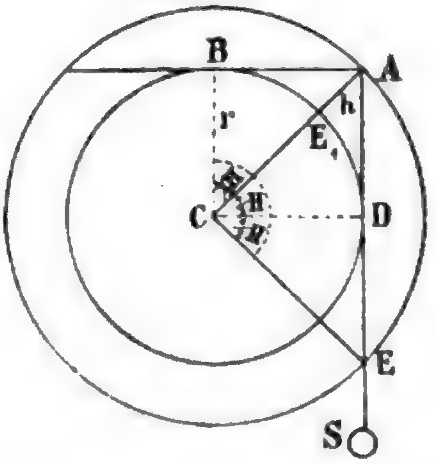
$$\frac{1}{r} = -\frac{1}{R}\left(1 - \frac{2\pi^2 r^2 \cos^2 \varphi}{g R T^2}\right).$$

Die Diskussion dieser Gleichung vergewissert uns darüber, dass die Niveauflächen der Atmosphäre sämmtlich von ellipsoidischer Form sind*), und dass somit der Gesammtatmosphäre als ein abgeplattetes Sphäroid betrachtet werden kann. Daran würde sich selbst dann nichts ändern, wenn man mit Meibauer [109] dem Weltäther die gleiche chemische Zusammensetzung beimessen wollte, wie unserer Luft.

§. 6. **Die Höhe der Atmosphäre.** An Methoden, die vertikale Erhebung der Luftgrenze über der Erdoberfläche zu finden, fehlt es nicht, allein so elegant und zweckdienlich auch dieselben unter dem rein theoretischen Gesichtspunkte erscheinen mögen, so ist man doch von einer auch praktisch befriedigenden Lösung der Aufgabe noch weit entfernt. Im Wesentlichen lassen sich die bisher bekannten Verfahrungsweisen in fünf Gruppen sondern.

a) **Die optische Methode.** Der Araber Alhazen (eigentlich Ibn Haitham) machte [110] darauf aufmerksam, dass man die Höhe der Licht reflektirenden Wolkenschicht bestimmen könne, wenn man den Moment zeitlich genau fixire, in welchem die letzten Sonnenstrahlen gerade noch ein im Horizont schwebendes Wölkchen beleuchten. Der Thüringer Witelo — denn so, und nicht Vitellion, heisst nach Curtze's Forschungsresultaten der berühmteste Optiker des Mittelalters [111] — behandelte Alhazen's Methode sehr ausführlich [112]: „Summorum vaporum consistentiam ad quantum possint elevari pertingere, possibile est inveniri." C (Fig. 23) ist der Mittelpunkt der Erdkugel, die Sonne befindet sich in S und sendet von da aus Lichtstrahlen nach der in A belegenen Wolke; die Linie SA ist eine Berührende der Erde, D der Berührungspunkt. Sowie die Sonne noch ein klein wenig weiter unter den Horizont hinabgesunken sein wird, kann kein Strahl von ihr mehr den Punkt A erreichen, da sich dem die Krümmung der Erde entgegenstellt. Die

Fig. 23.



*) Nicht etwa, als ob unsere Kurve eine Ellipse im strengen Sinne wäre; es lässt sich aber zeigen, dass die Gestalt beider Linien keine sehr verschiedene ist. Kürzer begründet Neumann (a. a. O.) sein Urtheil, das sich auf einen früher von ihm geführten Nachweis [108] für die Thatsache stützt, dass der äussersten Gleichgewichtsoberfläche des von Attraktionskräften beeinflussten Wassermantels der Erde ganz dieselbe Gleichung zukommt. Dass aber die Gezeiten annähernd ein Wasser-Ellipsoid herstellen, ist bekannt.

Gerade SA trifft den um C mit CA als Halbmesser gezogenen Kreis zum zweitenmal in E; zieht man nun AE und AB, welch' letztere Gerade der Bedingung gemäss den Horizont des in B gedachten Beobachters darstellt, fällt man ferner von C auf AB und AE die Perpendikel CB und CD, so ist offenbar $\Delta\,ABC \cong \Delta\,ADC \cong \Delta\,EDC$, und somit auch, wenn $\sphericalangle\,ACE = H$ gesetzt wird, $\sphericalangle\,BCA = \sphericalangle\,ACD = \sphericalangle\,DCE = \frac{H}{2}$. Der Winkel H (die negative Sonnenhöhe) wird dadurch ermittelt, dass man (s. o.) die Zeit der Beobachtung genau bestimmt; sind nämlich vom Untergang der Sonne bis zu fraglichem Zeitpunkt τ Stunden verflossen, so findet man den dem Beobachtungstermin entsprechenden Stundenwinkel σ der Sonne aus der Gleichung $\sigma : 360 = \tau : 24$. Ist ferner noch die Deklination δ der Sonne bekannt, so hat man unter der Polhöhe φ zur Bestimmung von H die Gleichung

$$\cos(90^\circ - H) = \sin H = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\frac{\tau}{15}.$$

Sowie aber H bekannt ist, wird die kürzeste Entfernung $AE_1 = h$ des der Atmosphäre angehörigen Punktes A von der Erdoberfläche aus dem rechtwinkligen Dreieck ABC, worin $BC = R$ der Erdradius ist, gefunden. Es ist nämlich

$$\frac{R}{R+h} = \cos\frac{H}{2}, \quad h = \frac{2R\sin^2\frac{H}{4}}{\cos\frac{H}{2}}.$$

Alhazen selbst bestimmte in Konsequenz dieses Verfahrens die Höhe des Luftkreises zu 52000 Schritten*); mit einigen Verbesserungen eignete sich **Kepler** [113] das Resultat des Arabers an. **Cotte**, der sich allerdings über die Unvollkommenheit der Methode nicht täuscht, führt an [114], dass **De la Hire** auf dieselbe Art $h = 37223$ Toisen, **Mariotte** $h = 15$ bis 20 Lieues gefunden habe. Offenbar führt die **Alhazen**'sche Aufgabe nicht eigentlich zu einer wirklichen Höhenbestimmung der Atmosphäre, es wird vielmehr günstigsten Falles die Höhe jener Wolkenregion ermittelt, welche das Sonnenlicht noch zurückwirft. Auch müsste, um einigermassen zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, die Wirkung der Strahlenbrechung mit berücksichtigt werden. Diess thut denn auch **Jesse**, der bei einer neueren Untersuchung über die zur Zeit brennende Frage der meteorologischen Optik im Ganzen den gleichen Weg einschlägt [115]; da er aber alle erforderlichen Korrektionen vornimmt, so dürfte er Vertrauen verdienen, wenn er [116] die Höhe jener Dunstschicht, in welcher die so viel besprochenen anomalen Dämmerungserscheinungen sich abspielten, auf 17 Kilometer berechnet**). Statt durch Reflexion, dachte **Newton**

*) Um Missverständnisse hintanzuhalten, erklären wir, dass wir zwar — im Anschluss an die von H. **Wagner** vor dem zweiten deutschen Geographentage verfochtenen Thesen — bei allen thatsächlichen Angaben uns keines anderen als des metrischen Maasses bedienen, dass wir dagegen, sobald es sich um historische Notizen, resp. um die subjektiven Anschauungen älterer Forscher handelt, stets an den dem Originale entnommenen Maasseinheiten festhalten zu sollen glauben.

) Auch E. E. **Schmid vindicirt [117] dem **Alhazen**'schen Verfahren einen relativen Werth. „Jedenfalls," sagt er, „deutet die nahezu konstante Dauer der

durch Refraktion der Lichtstrahlen zu einer Lösung unserer Aufgabe zu gelangen, als er in seine Ausgabe von Varen's „Geographia generalis" (vgl. I. Band, S. 15) die Problemstellung aufnahm: „Observatis duabus refractionibus ad duas altitudines, invenire inde et aeris altitudinem et crassitiem aeris respectu aetheris."

b) **Die mechanische Methode.** Während das optische Verfahren uns lediglich eine noch dazu sehr tief gegriffene untere Grenze der Atmosphäre lieferte, giebt uns das mechanische Verfahren Anhaltspunkte über die äusserste Grenze, welche jene in keinem Falle überschreiten kann. Man bestimmt hier ganz einfach für einen Aequatorpunkt jene Entfernung vom Erdmittelpunkt, für welche Gravitation und Fliehkraft sich die Wage halten. In der Hauptgleichung des vorigen Paragraphen ist $\varphi = 0$ zu setzen, dann wird die gesuchte Entfernung

$$= r \sqrt[3]{\frac{kM}{\omega^2}}.$$

Die Idee, in dieser Weise vorzugehen, rührt her von dem Schweden Melanderhjelm [118], der für r den Werth von 3334 schwedischen Meilen = 4833 geographischen Meilen fand. Nicht eben sehr weit hievon verschieden war das Resultat Laplace's [119]: r = 5682 geographischen Meilen.

c) **Die aërostatische Methode.** G. G. Schmidt gründete [120] seine Berechnung auf die Annahme, dass die Grenze der Luft da zu suchen sei, wo die spezifische Elasticität derselben mit der Schwere im Gleichgewichte stehe. Seine Formel ergab ihm, dass unter dem Aequator die Höhe der Atmosphäre 27,5, unter den Polen aber 27,1 Meilen betrage.

d) **Die thermodynamische Methode.** Die Hülfsmittel der mechanischen Wärmetheorie sind zuerst von A. Ritter (vgl. I. Band, S. 320 ff.) unserem Probleme dienstbar gemacht worden. Derselbe zeigt, dass, einen indifferenten Gleichgewichtszustand unserer Atmosphäre vorausgesetzt, deren vertikale Erhebung vermittelst des folgenden Satzes gefunden werden kann [121]: „Die Wärmequantität, welche einer bis auf den Nullpunkt der absoluten Temperatur abgekühlten Luftmasse mitgetheilt werden müsste, um dieselbe bei konstantem atmosphärischem Gegendrucke in denjenigen Zustand der Atmosphäre überzuführen, in welchem deren unterste Schicht sich befindet, bildet das Wärmeäquivalent für diejenige mechanische Arbeit, welche erforderlich sein würde, um ebendieselbe Luftmasse bis zur Grenze der Atmosphäre emporzuheben." Ritter hält es nicht für unwahrscheinlich, dass, wenn man die in die Rechnung eingehenden Konstanten schärfer, als es bisher möglich war, zu bestimmen vermöchte, man für das unsere Atmosphäre darstellende Gemisch von Wasserdampf, Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure eine Höhe erhalten würde, welche von der für eine reine Wasserdampfatmosphäre bereits ermittelten — 349000 m — nicht weit abweiche [122]. Für diese Zahl aber spricht ein sofort anzugebender und sehr gewichtiger Grund.

Abenddämmerung darauf hin, dass in einer Höhe von etwa 10 Meilen eine ungewöhnlich rasche Abnahme in der Dichte der Luft stattfindet."

e) **Die astronomische Methode.** Bei seinen Studien über die Sternschnuppenschwärme hat Schiaparelli gefunden [123], dass die Höhe der Atmosphäre weit mehr denn 200000 m betragen muss, wenn die Entzündungs- und Verbrennungserscheinungen, welche wir an den Meteoriten wahrnehmen, ihre Erklärung finden sollen (vgl. I. Band, S. 77 ff.).

Wir werden sonach dem augenblicklichen Stande unserer Kenntnisse wohl dann am besten Rechnung tragen, wenn wir die Höhe unserer Atmosphäre auf etwa 30 Myriameter ansetzen. Diess stimmt auch vorzüglich zu Flögel's Messungen der Nordlicht-Höhen, deren wir in Kap. IV, §. 2 der vorigen Abtheilung Erwähnung zu thun hatten. Liais will sogar bis zu 40 Myriametern gehen [124].

§. 7. **Anderweite physikalische Eigenschaften der Atmosphäre.** Man kann hierunter akustische, optische und elektrische verstehen. Was die beiden letzteren betrifft, so werden dieselben in besonderen Kapiteln abgehandelt werden, dagegen ist hier der Ort, gewissen in die Geophysik einschlagenden Eigenthümlichkeiten akustischer Natur ihr Recht angedeihen zu lassen. Die Akustik als solche gehört allerdings als selbstständiger Bestandtheil der allgemeinen Physik an, indess giebt es auch Fragen, die in einem möglichste Vollständigkeit anstrebenden Lehrbuche der physikalischen Erdkunde wenigstens gestreift zu werden verdienen.

Wir meinen in erster Linie die Lehre vom Echo, die allerdings trotz der Bemühungen eines L. Euler u. a. noch nicht als eine abgeschlossene gelten kann. In übersichtlicher Weise behandelt Muncke [125] die Theorie dieser merkwürdigen Erscheinung, welche namentlich nach zwei Punkten hin noch manches Mysteriöse in sich birgt, nämlich hinsichtlich der vielfachen Echo's*) und hinsichtlich des gewöhnlichen Waldecho's. Für jene scheinen die scharfen Beobachtungen Hirn's [127] einige Aufklärung zu bringen. Indem derselbe nämlich das eigenthümliche Getöse akustisch analysirte, welches der aus einer seitlichen Oeffnung der Wand seines Fabrikgebäudes entweichende überschüssige Kesseldampf verursacht, fand er, dass dieses Geräusch alle Töne vom höchsten bis zum niedrigsten in sich enthielt, und dass blos nach lokalen Dispositionen der eine oder andere Ton stärker hervortrat.

Das Gerolle des Donners erklärt Reis [128] dadurch, dass der Schall des von dem elektrischen Schlage ausgehenden Geräusches stets in die eine Wolke ein- und an der entgegengesetzten Grenzfläche wieder austritt. Die an jener Wand stattfindende Reflexion des Schalles bedinge das Gepolter, die Verschiedenheit der reflektirenden Flächen den intermittirenden Charakter der Schallerscheinung.

Von den bekannten Reflexionen der Luftbewegungen ab-

---

*) Bei Adersbach in Böhmen ist ein merkwürdiges Echo. Einzelne Felsen, in einem Umkreise von fast 32 Kilometern zerstreut, bilden das Gerippe eines Berges. „Da wo sich diese Felsengruppe schliesst, ist das Echo, welches 7 Sylben dreimal wiederholt, ohne sie im mindesten zu verwirren. Das phonische Centrum ist in einer kurzen Entfernung von der höchsten Spitze; dort stehend, hort man auch leise gesprochene Worte, entfernt man sich aber nur einige Schritte, so giebt selbst ein Schuss kein Echo [126]."

gesehen, scheint auch der Brechung des Windes eine grössere Beachtung geschenkt werden zu müssen, als es bisher geschah. Nachdem Parry und Foster die menschliche Stimme auf eine Entfernung von 2 km in den Polargegenden wahrgenommen, nachdem diese Thatsache in eklatanter Weise ihre Bestätigung durch Bessels gefunden hat [129], und nachdem die von Bravais und Martins auf dem Faulhorn angestellten Versuche keinen Zweifel darüber gelassen haben, dass in dünnerer Luft die Töne sich weiter verbreiten, als in dichterer, musste man an eine Erklärung so auffälliger Vorkommnisse denken, und diese findet eben Reis [130], im Einklang mit Stokes und Reynolds, in der Windbrechung. Nur anregen möchten wir die Frage, ob es nicht mit einem von H. Reuleaux ausführlich beschriebenen Faktum [131] eine ähnliche Bewandtniss haben könne. Derselbe fand in einem abgelegenen Thale des Hunsrück-Gebirges, dass man bei einer gewissen Stellung stehende oder doch nur langsam fortschreitende Tonwellen bemerken und verfolgen könne, die ähnlich, wie Glockenklang, in der Luft fortschreiten, plötzlich aber Halt zu machen scheinen. Da mehrere Naturforscher von Ruf eine genügende Deutung dieses „Hochwaldräthsels" für zur Zeit nicht möglich erklärt haben sollen, so fühlen auch wir hier keinen Beruf in uns, der Sache näher zu treten.

Zum Schlusse möge noch die von Tyndall gemachte Entdeckung hier ihren Platz finden, wonach die Durchlässigkeit der Luft für Licht und Schall von ganz entgegengesetzten Faktoren bestimmt wird. Gerade wenn die Luft sehr stark mit Wasserdampf erfüllt und in Folge dessen recht durchsichtig ist, bildet sie eine akustische Wolke, die den Schallwellen gegenüber ebenso impermeabel ist, wie eine gewöhnliche Wolke gegenüber den Lichtwellen. Schon als am 21. und 22. Juni 1822 Prony, Mathieu und Arago in Villejuif (auf der südöstlich von Paris ausgehenden Hochebene), A. v. Humboldt, Gay-Lussac und Bouvard in Montlhéry ihre bekannten Versuche über die Fortpflanzung des Schalles anstellten und diese zu 1033 m in der Sekunde bestimmten, hatte man Aehnliches bemerkt, aber erst Tyndall entwickelte [132] eine eigentliche Theorie des Sachverhaltes, gestützt auf Versuche mit Nebelhornsignalen, welche er 1873 zu South-Foreland bei Dover organisirt hatte. In Kürze kann man sagen: Akustische Trübung ist optische Klarheit, und optische Trübung ist akustische Klarheit.

[1] Ideler. Meteorologia veterum Graecorum et Romanorum. Berolini 1832. — [2] Siber. Fragmente zur Geschichte der Meteorologie. (Kastner's) Arch. f. Chem. u. Meteor.. 2. Band, S. 373 ff.; 4. Band. S. 287 ff.: 5. Band, S. 284 ff.: 6. Band, S. 372 ff.; 7. Band. S. 198 ff. — [3] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. 5. Heft. — [4] Brocard, Essai sur la météorologie de Kepler, I. Grenoble 1879. II. ibid. 1880. — [5] Supan. Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 12. — [6] Cotte. Traité de météorologie, Paris 1774: Mémoires sur la météorologie, ibid. 1788. — [7] Meurer. Commentarii meteorologici. Lipsiae 1592. — [8] Kastner. Handbuch der Meteorologie. Erlangen 1830. — [9] Kämtz. Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1831—36; Vorlesungen über Meteorologie, ibid. 1840. — [10] Murphy, Meteorology. considerated in its connexion with the astronomy. climate and the geographical distribution of animals and plants, London 1843. — [11] Jahn, Handbuch der Witterungskunde. Leipzig 1855. — [12] E. E. Schmid. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1860; Grundriss der Meteorologie. ibid. 1862. — [13] Cornelius. Meteoro-

logie. Halle 1863. — [14] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1874; 3. Auflage, ibid. 1883*). — [15] Helmes, Das Wetter und die Wetterprophezeiung, Hannover 1858. — [16] Bachmann, Grundriss der Meteorologie, Nördlingen 1876. — [17] Viscovich, Manuale nautico di meteorologia, Trieste 1876. — [18] Houzeau-Lancaster, Traité élémentaire de météorologie, Mons 1883. — [19] Klein, Allgemeine Witterungskunde, Prag und Leipzig 1883. — [20] Die moderne Meteorologie (Vorträge von Mann, Laughton, Strachan, Ley, Symmons, Scott), Braunschweig 1882. — [21] Scott, Elementare Meteorologie, deutsch von v. Freeden, Leipzig 1884. — [22] Murhard, Geschichte der Barometrie und Hygrometrie, Göttingen 1799. — [23] Kopp, Einiges über Witterungsangaben, Braunschweig 1879. — [24] Schwartz, Wolken und Wind, Blitz und Donner, Berlin 1870. — [25] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883. — [26] Ibid. Sp. 869 ff. — [27] Ibid. Sp. 895 ff. — [28] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 47. — [29] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 1. Band, Leipzig 1825. S. 454. — [30] Ucke, Die quantitativen Verhältnisse des Sauerstoffes der Luft in den verschiedenen Klimaten, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 10. Band. S. 33 ff. — [31] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 3. Band, Leipzig 1827. S. 1163 ff. — [32] Bonnet, Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes, Gottingue et Leyde 1754. — [33] Senebier, Mémoires physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois règnes de la nature, Genève 1882. — [34] Die Elektricität und der Kohlensäuregehalt der Luft am Kap Hoorn, Naturforscher, 17. Jahrgang. S. 150 ff. — [35] Heine, Ueber die Absorption der Wärme durch Gase und eine darauf basirende Methode zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der atmosphärischen Luft, 21. Ber. d. oberhess. Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde, S. 17 ff. — [36] Ibid. S. 57 ff. — [37] Hann, Handbuch etc., S. 49. — [38] v. Fodor, Der Kohlensäuregehalt der Bodengase zu Klausenburg, Zeitschr. f. öffentl. Gesundheitspflege, 7. Band. S. 205 ff. — [39] Moller, Ueber die freie Kohlensäure im Boden, Mittheil. a. d. forstl. Versuchswesen Oesterreichs, 1878. S. 121 ff. — [40] Schönbein, Ueber den bei Elektrolysation des Wassers und bei'm Ausströmen der gemeinen Elektricität aus Spitzen bemerkbaren Geruch, München 1840. — [41] Krebs, Drei Ozon-Apparate, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 21. Band. S. 139 ff. — [42] Hautefeuille-Chappuis, Recherches sur l'ozone, Ann. scient. de l'école norm. supérieure, (3) tome I. S. 79 ff. — [43] Andrews, Discours sur l'ozone prononcé à la requête du conseil devant la société royale d'Edinburgh, Mondes, (2) Vol. XXXVIII. S. 572 ff. S. 614 ff. S. 649 ff. — [44] Prestel, Die jährliche periodische Aenderung des atmosphärischen Ozons und die ozonoskopische Windrose als Ergebniss der Beobachtungen zu Emden von 1857 bis 1864, Dresden 1865. — [45] Lender, Ueber die Bedeutung des Sauerstoffes, Tageblatt d. 49. Versamml. d. Naturf. u. Aerzte, Graz 1875. S. 253 ff. — [46] Ibid. S. 257. — [47] R. Wolf, Ueber den Ozongehalt der Luft und seinen Zusammenhang mit der Mortalität, Mittheil. d. naturf. Gesellsch. zu Bern, 1855. S. 71. — [48] Gehler's phys. Worterbuch, 2. Aufl., 1. Band. S. 461 ff. — [49] Assmann, Die Bedeutung des Staubes in der Atmosphäre, Magdeburg 1882. — [50] Gehler's phys. Wörterbuch, 2. Aufl., 7. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1834. S. 1220 ff. — [51] Ibid. S. 1230. — [52] Ibid. S. 1232. — [53] Finke, Naturhistorische Bemerkungen, betreffend eine auf vieljährige meteorologische Beobachtungen sich stützende Beschreibung des Moordampfes in Westphalen und seine nachtheiligen Einflüsse auf die dortige Witterung, Hannover 1820; Der Moorrauch in Westphalen, ein Beitrag zur Meteorologie, Lingen 1825. — [54] v. Lär, Der Moorrauch und seine Beseitigung, Münster 1871. — [55] F. Roth, Untersuchung über die kleinsten Theile des Wassernebels, Gross-Umstadt 1875. S. 15. — [56] Mohn, Grundzüge etc. S. 58. — [57] Ibid. S. 86 ff. — [58] Ibid. S. 172 ff. — [59] Jamin, Qu'est-ce que la rosée, L'Astronomie (de Flammarion), 1882. S. 96 ff. — [60] Wells, An essay on dew, with several appearances connected with it, London 1815. — [61] Horner, Wells' Versuch über den Thau, Zürich 1821. — [62] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 2. Cyklus, Zürich 1859. S. 402. — [63] Jamin, Qu'est-ce etc. S. 103. — [64] Scheuchzer, Beschreibung der Naturgeschichten des Schweizerlandes, 3. Band, Zürich 1712. S. 20. — [65] Kämtz, Lehrb. d. Meteor., 1. Band. S. 363. — [66] Mohn, Grundzüge etc. S. 200. — [67] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 7. Band, 1. Abtheilung, Leipzig 1832. S. 12 ff. — [68] Mohn, Grundzüge etc. S. 175 ff. — [69] Ibid. S. 182. — [70] Riccioli, Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens, tomus I., Bo-

*) Künftighin ausschliesslich citirt.

noniae 1651. S. 82. — [71] Jacobi Bernoulli Opera, ed. Cramer, tomus I., Genevae 1744. S. 336 ff. — [72] Grunert, Ueber Jakob Bernoulli's Methode, die Höhe der Wolken zu bestimmen, Arch. d. Math. u. Phys., 2. Theil. S. 377 ff. — [73] Prestel, Einfaches Verfahren, die Höhe der Haufenwolken zu bestimmen, Wochenschr. f. Astr., Meteor. u. Geogr., (2) 6. Jahrgang. S. 111 ff. — [74] Pouillet, Mémoire sur la hauteur, la vitesse et la direction des nuages, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XI. S. 717 ff. — [75] Feussner, Ueber zwei Methoden zur Höhenmessung der Wolken, Marburg 1871. — [76] Zenker. Die photographische Beobachtung der Wolken, Meteorologische Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 4 ff. — [77] Die mod. Meteor., S. 123. — [78] Howard, An essay on the modification of clouds, and the principles of their production, suspension and destruction, London 1802. — [79] Poëy. Comment on observe les nuages pour prévoir les temps, Paris 1879. — [80] Weihrauch, Sur les formes des nuages, Copenhague et Paris 1881. — [81] Ley, Note on a proposed scheme of the upper clouds, London 1882. — [82] Zylius, Bemerkungen über G. L. Lichtenberg's Vertheidigung des Hygrometers und der Deluc-schen Theorie vom Regen, Gilbert's Ann. d. Phys., 5. Band. S. 257 ff. — [83] Kepler, Strena seu de nive sexangula, Francofurti 1611. — [84] Mairan, Discours sur la glace, Bordeaux 1749. — [85] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 3. Band. S. 110. — [86] Engelman, Het regt gebruyk der natur beschouwingen in een verhandeling over de sneewfiguren, Haarlem 1747. — [87] Scoresby, Voyage to the northern whale fishery, deutsch von Kries, Hamburg 1825. S. 95 ff. — [88] Glaisher-Flammarion-Fonvielle-Tissandier, Voyages aériens, Paris 1869. — [89] Tyndall, Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher. Leipzig 1873. S. 38. — [90] Merian, Ueber Eisregenbildung, (Kastner's) Arch. f. Chem. u. Meteor., 4. Band. S. 125 ff. — [91] Kästner, Geschichte der Mathematik, 2. Band, Göttingen 1797. S. 125. — [92] Montucla, Histoire des mathématiques, tome II., Paris 1758. S. 203. — [93] Kästner, Gesch. d. Math., 3. Band, Göttingen 1799. S. 460 ff. — [94] Hochheim. Otto v. Guericke als Physiker, Magdeburg 1872. — [95] Rosenberger, Die Geschichte der Physik in Grundzügen, 2. Theil, Braunschweig 1884. S. 204. — [96] Mariotte, Discours sur la nature de l'air, Paris 1676: Oeuvres de Mariotte, vol. I., À la Haye 1740. — [97] Gay-Lussac, Recherches sur la dilatation des gaz et des vapeurs, Ann. de chim. et de phys., Vol. XLIII. — [98] Biehringer, Ueber eine Erweiterung der Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetze, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 27. Band. S. 377 ff. — [99] M. Kuhn, Ueber die Beziehung zwischen Druck, Volumen und Temperatur bei Gasen, Wien 1875. — [100] Schlemüller, Der Zusammenhang zwischen Höhenunterschied, Temperatur und Druck in einer ruhenden, nicht bestrahlten Atmosphäre, Prag 1880. S. 19. — [101] v. Bauernfeind, Die physikalische Konstitution der Atmosphäre nach der Theorie des k. k. Hauptmanns Herrn W. Schlemüller, München 1880. S. 4 ff. — [102] Dalton, On the constitution of mixed elastic fluids and the atmosphere, (Nicholson's) Journal of natural philosophy, Vol. V. S. 241 ff. — [103] Gehler's phys. Worterb., 2. Aufl., 1. Band. S. 491 ff. — [104] E. G. Fischer, Darstellung und Kritik der Verdunstungslehre nach den neuesten, besonders den Dalton'schen Versuchen, Berlin 1810. — [105] Lamont, Resultate aus den an der kgl. Sternwarte veranstalteten meteorologischen Untersuchungen, München 1857. S. 23 ff. — [106] Laplace, Exposition du système du monde, Paris 1796. S. 218 ff. — [107] F. Neumann, Einleitung in die theoretische Physik, herausgeg. von Pape, Leipzig 1883. S. 170. — [108] Ibid. S. 136. — [109] Meibauer, Die physische Beschaffenheit des Sonnensystemes, Berlin 1872. S. 58 ff. — [110] Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 1. Band, Stuttgart 1882. S. 170. — [111] Curtze, Sur l'orthographie du nom et sur la patrie de Witelo (Vitellion), Bullett. di bibliogr. e di storia delle sc. mat. e fis., tomo IV. S. 49 ff. — [112] Vitellionis mathematici doctissimi περὶ ὀπτικῆς, id est de natura, ratione et projectione radiorum visus, luminum atque formarum, quam vulgo perspectivam vocant. libri X, ed. Tanstetter-Apianus, Norimbergae 1535. fol. 282, 1. — [113] Kepler, Epitome astronomiae Copernicanae, Lincii 1618. S. 74. — [114] Cotte, Traité de météor., S. 4 ff. — [115] Jesse, Die Höhe der Dunstschicht, durch welche die merkwürdigen Dämmerungserscheinungen der letzten Monate hervorgerufen worden sind, Meteorologische Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 127 ff. — [116] Ibid. S. 138. — [117] E. E. Schmid. Lehrb. d. Meteor., S. 47 ff. — [118] Melanderhjelm, De atmosphaera terram ambiente pars I, Upsaliae 1763. — [119] Oeuvres complètes de Laplace, ed. Serret, tome VI., Paris 1846. S. 309. — [120] G. G. Schmidt, Ueber die Ursache der Begrenzung unseres Luftkreises und die Bestimmung der Höhe desselben, Gilbert's Ann d. Phys., 62. Band. S. 310 ff. — [121] A. Ritter, Unter-

suchungen über die Höhe der Atmosphäre und über die Konstitution gasförmiger Weltkörper, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 5. Band. S. 407. — [122] Ibid. S. 417. — [123] Schiaparelli, Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen, deutsch von G. v. Boguslawski, Stettin 1871. — [124] Die mod. Meteor. etc., S. 11. — [125] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 3. Band. S. 78 ff. — [126] Ibid. S. 196. — [127] Hirn, Les échos multiples, Mondes, (2) vol. XXXVI. S. 266 ff. — [128] Reis, Das Donnergerolle und das Echo, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 215 ff. — [129] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 257. — [130] Reis, Ungewöhnlich weite Hörbarkeit von Tönen, erklärt durch Windbrechung, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 53 ff. — [131] Reuleaux, Das singende Thal von Thronecken, ein Hochwaldräthsel, Koblenz 1880. — [132] Tyndall, On acoustic reversibility, Proceed. of the royal society, Vol. XXI. S. 159 ff.; On the transmission of sound by the atmosphere, ibid. Vol. XXII. S. 38 ff.

Kapitel II.

Die Beobachtungs- und Berechnungsmethoden der Meteorologie.

§. 1. **Die Instrumente.** Kaum irgend eine andere auf Beobachtung und Experiment angewiesene Disciplin ist so abhängig von der Einrichtung und exakten Ausführung ihrer Instrumente, wie gerade die Meteorologie. An dieser Stelle kann auf eine der wichtigsten Fragen, nämlich auf die an den Beobachtungswerkzeugen anzubringenden Korrektionen, begreiflicherweise nicht näher eingegangen werden; es muss uns vielmehr genügen, nur eine allgemeine Uebersicht über die wichtigsten dieser Instrumente zu liefern. Alle diejenigen, welche zur Erforschung optischer und elektrischer Verhältnisse dienen, bleiben vorläufig von der Betrachtung ausgeschlossen, im übrigen bedienen wir uns der alphabetischen Anordnung.

a) **Anemometer.** Solange es sich blos darum handelte, die Richtung kennen zu lernen, aus welcher der Wind wehte, konnte die gewöhnliche Windfahne genügen; eine vielleicht schon den Alten bekannte, jedenfalls aber im XVII. und XVIII. Jahrhundert mehrfach angebrachte Verbesserung derselben bestand darin, dass man die Axe der auf dem Dache angebrachten Fahne in das Innere des Hauses hinabreichen liess und an ihrem Ende einen Zeiger anbrachte, welcher über einem getheilten Kreise spielte, so dass man die Windrichtung wusste, ohne das Zimmer verlassen zu müssen*). Von Guericke's „Anemoskop" wird später die Rede sein. Mit dem Beginne des vorigen Jahrhunderts fallen die ersten Versuche zusammen, Windstärkemesser zu konstruiren. Nach Muncke, der die Geschichte der Anemometrie zum Gegenstande eines sehr gründlichen Spezialstudiums gemacht hat, war ein Anonymus in England der Erste, der einen brauchbaren Vorschlag machte [2]; er wollte eine Tafel frei herabhängen lassen,

*) Eine solche Vorrichtung war es aller Wahrscheinlichkeit nach, welche — nach Macaulay's Bericht [1] — den Czaren Peter bei seinem Besuche in Kensington-House mit Verwunderung erfüllte.

und aus dem Ausschlagswinkel, der sich ergeben musste, wenn jene durch den Wind in Bewegung gesetzt ward, die Stärke der bewegenden Kraft ermitteln. Die Idee ist an sich unangreifbar, und Pickering, Herrmann und v. Dalberg haben dieselbe für die Praxis nutzbar zu machen gesucht, allein die Theorie des Windstosses ist trotz der Mühe, welche sich u. a. Crelle [3] und Zernikow [4] um jene gegeben haben, selbst heute noch zu wenig geklärt, als dass zuverlässige Zahlen aus dieser anemometrischen Methode herzuleiten wären*). Bouguer, dem wieder viele Nachahmer folgten, setzte in ein hohles Kästchen eine dessen Hohlraum genau verschliessende Platte ein, welche durch eine Spiralfeder in einer bestimmten Lage festgehalten wurde; der Wind trieb diese Platte, je nach seiner Intensität, tiefer oder minder tief in den Kasten hinein [6], und Beaufoy, der wissenschaftliche Begründer der neueren Lehre vom Widerstande der Flüssigkeiten, baute auf Bouguer's Princip weiter fort [7]. Der scheinbar natürlichste Gedanke, dem Stosse des Windes einen um eine Axe drehbaren Körper entgegenzustellen und aus dessen Rotationsgeschwindigkeit auf die Energie jenes Stosses zu schliessen, ist anscheinend zuerst in Christian v. Wolf erwacht [8]. Robinson's Halbkugel-Anemometer führt diesen Gedanken mit Geschick durch [9]; je zwei Halbkugeln sitzen an den Enden zweier auf einander senkrecht stehender gleichlanger Stäbe so, dass sie ihre Hohlwölbung nach der Richtung hin kehren, nach welcher das an einer vertikalen Axe angebrachte Kreuz sich dreht. Durch Versuche ist ermittelt, dass die Geschwindigkeit des Windes etwa 3 mal so gross ist, als die Geschwindigkeit, mit welcher das Schalenkreuz sich umdreht**). Diese letztere wird durch eine Verbindung gezahnter Räder gemessen und aufgezeigt, ganz ebenso, wie die schon von Vitruv beschriebenen Hodometer oder Schrittzähler gleichförmige Bewegungen zu registriren gestatten. Wiederum als eine Verbesserung dieses Apparates ist Recknagel's Anemometer zu betrachten, mit welchem zur Zeit auf der Seewarte zu Hamburg Versuche in grossartigem Maassstabe angestellt werden [11]. Um die Bewegung des Schalenkreuzes möglichst zu erleichtern, hat Monro für die auf Hochgipfeln anzubringenden Windmesser zwischen die feststehenden Auflager der hohlen Anemometeraxe und der beweglichen Partieen ein System von Metallkugeln eingeschaltet, welche durch einen Führungsring in bestimmten Distanzen gehalten werden, und auf denen unmittelbar das Axenkreuz mit seinen Schalen ruht [12]. — Ob das von Mohn (a. a. O.) erwähnte Hagemann'sche Luftverdünnungs-Anemometer***) eine Zukunft haben wird, erscheint uns fraglich. †)

---

*) Immerhin muss konstatirt werden, dass Wild's Windstärketafel [5] auf gleichem Principe beruht. Die Skale des Gradbogens ist aber bei Wild bereits empirisch getheilt, so dass man unmittelbar das Verlangte abliest.

**) Sprung ermittelte am Recknagel'schen Instrumente [10], dass, wenn ω die Geschwindigkeit des Windes, ω' diejenige der Schalencentra ist, $\omega = 1 + 2{,}4\,\omega'$ zu setzen ist.

***) Näheres über den Verfertiger jenes Apparates konnten wir nicht in Erfahrung bringen; ein gewisser Hagemann veröffentlichte 1724 eine Schrift aerostatischen Inhaltes [13].

†) Da der Druck des Windes instrumental nur schwer und ungenau zu bestimmen ist, so schätzt man die Stärke desselben zur See nach der soge-

b) **Atmometer.** Diese Instrumente, auch Atmidometer, Evaporameter oder Verdunstungsmesser genannt, sollen zur Messung des Wasserquantums dienen, welches durch Verdunstung der Atmosphäre einverleibt wird. Die älteren Apparate eines Leutmann, Musschenbroek u. a. bestanden der Hauptsache nach aus einem an einem Wagebalken aufgehängten Wassergefässe, welches ursprünglich äquilibrirt war, in dem Maasse aber stieg, als ihm durch die Verdunstung Wasser entzogen ward [15]. Bellani's Heberapparat sollte feststellen, wie sich die Verdunstungsverhältnisse des feuchten Erdbodens gestalten [16]. Als die für die frostfreie Zeit brauchbarsten Verdunstungsmesser empfiehlt Hann [17] diejenigen von Wild und Piche, doch räumt er ein, dass es schwer halte, vergleichbare Messungen dieses meteorologischen Elementes anzustellen, und in der That sah sich die internationale Konferenz der Meteorologen von 1879 veranlasst, einen durch Cantoni und Ebermayer zu erstattenden Bericht über diese Frage auf eine ihrer späteren Tagesordnungen zu setzen [18].

c) **Barometer.** Dieses Instrument (βάρος, die Schwere, μετρεῖν, messen) soll dazu dienen, den Druck der Luft auf ihre Unterlage zu messen. Wenn man von dem unvollkommenen ersten Versuche Otto v. Guericke's absieht*), so hat es bis in die neueste Zeit herein nur Flüssigkeitsbarometer und Aneroidbarometer (ἀνηρός, hohl) gegeben**). — Was die ersteren anbetrifft, so waren dieselben durch den Versuch Torricelli's, von welchem wir in §. 4 des vorigen Kapitels handelten, zugleich mit erfunden. Torricelli sagte sich nämlich ganz richtig: Wenn wirklich der Druck der Luft es ist, welcher das Wasser im Saugrohre nöthigt, bis zu einer gewissen Höhe anzusteigen, so wird unter sonst gleichen Umständen bei einer anderen Flüssigkeit ganz das Gleiche sich ereignen, und zwar werden die Steighöhen h und h′ für zwei flüssige Stoffe, denen resp. die spezifischen Gewichte q und q′ zukommen, durch die Proportion $h : h' = q' : q$ zusammenhängen. Die spezifisch schwerste Flüssigkeit, welche Torri-

---

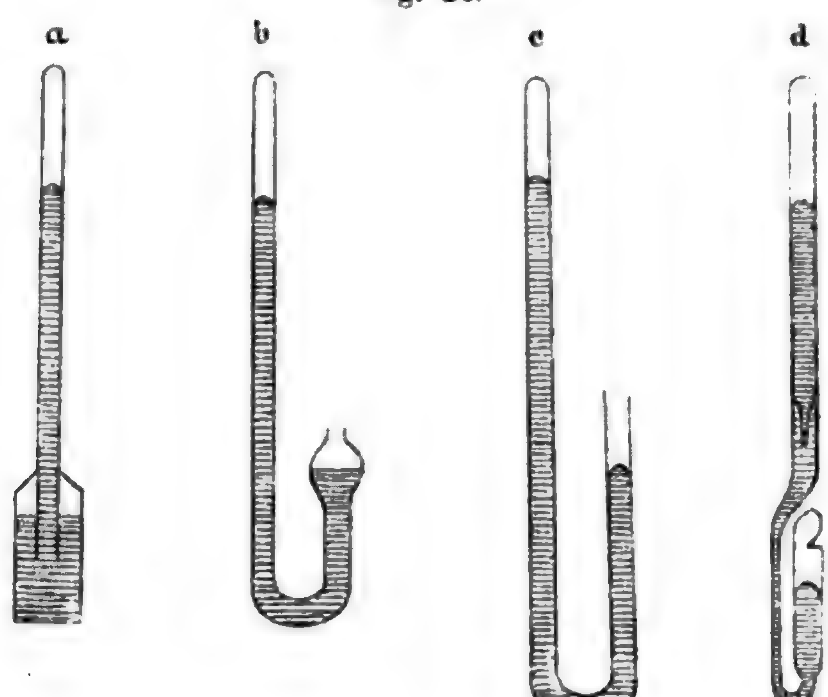
nannten Beaufort-Skale, welche 12 Grade enthält, während man auf dem Lande gewöhnlich mit 8 Graden auslangt. Diese 8 Grade sind: Ruhe, stiller, schwacher, mässiger, frischer, starker Wind, Sturm, Orkan. Frischer Wind wird z. B. jener genannt, welcher die Zweige der Bäume bewegt. Köppen ist neuerdings daran gegangen [14], die Beziehungen auf theoretischem Wege zu eruiren, welche zwischen der hier geschilderten empirischen Skale und der wirklichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Windes obwalten.

*) Obwohl der deutsche Physiker schon mit dem Wesen des Barometers bekannt war, so glaubte er doch ein brauchbares Baroskop (Anemoskop) dadurch herstellen zu können, dass er einen luftleer gemachten Ballon aus Kupfer an einer Wage genau äquilibrirte, und aus den Oscillationen des den Ballon tragenden Balkens glaubte er auf Veränderungen des Wetters schliessen zu können: „Si pluat", meint er [19], „multum aquae aëre decidit, et ideo is levior redditur; quod si fiat, globus evacuatus ingravescit et labitur."

**) Nur Stevenson denkt [20] an eine Ausnahme. Bekanntlich ist, wenn Licht aus Luft in ein Glasprisma eintritt, die Grosse der Lichtbrechung von den absoluten Brechungsexponenten von Luft und Glas abhängig; letzteres bleibt sich immer gleich, jede Aenderung in der Dichte der Luft bewirkt aber eine veränderte Lichtbrechung, und aus der Grösse der Veränderung soll man einen Rückschluss auf die Veränderung im Drucke der Luft machen können. Boys hält es sogar für möglich [21], jähe Luftdruckschwankungen auf akustischem Wege zu erkennen.

celli kannte, war Quecksilber; er füllte demnach eine Glasröhre sorgfältig mit Quecksilber, verschloss deren obere Oeffnung mit dem Finger, kehrte nunmehr die Röhre um und versetzte sie so in einen gleichfalls mit Quecksilber gefüllten Trog. Jetzt nahm er den Finger fort und sah auch sogleich die Flüssigkeit in der Röhre fallen, und zwar gerade so weit, dass die Höhe, auf welcher es sich konstant erhielt, der obigen Proportion entsprach. Nach dem Gesetze der kommunicirenden Röhren, welches bekanntlich an gar keine Durchmesser gebunden ist — nur kapillare Röhren sind der ihnen eigenthümlichen Adhäsionsverhältnisse wegen ausgeschlossen — ist der Druck der Luft auf die freie Oberfläche des Quecksilbers genau dem von der Quecksilbersäule des Rohres ausgeübten Drucke gleich, und letzterer ist sonach ein Maass für ersteren. Statt des Quecksilbers könnte man natürlich auch andere Flüssigkeiten wählen; in früherer Zeit, als man noch für das groteske Element in der Physik einigen Sinn hatte, verfertigte man wirkliche Wasserbarometer, die natürlich an Häuserwänden angebracht

Fig. 24.



werden mussten. Nach Schott [22] hat Bertus solche Ungethüme von Instrumenten gebraucht, aber auch Kästner sah noch als Student die langen Messingröhren, welche von den Leipziger Professoren an einander geschraubt wurden, um den florentinischen Versuch in seiner Urgestalt zu demonstriren [23]. In England denkt man neuerdings daran, Glycerinbarometer anzufertigen, die manche Vortheile gewähren sollen [24]. Im Wesentlichen ist man aber doch bei'm Quecksilber stehen geblieben; die Eintheilung der Röhre, die früher dem altfranzösischen Maasse angepasst war, erfolgt stets nach Millimetern. Da an der Meeresfläche das Quecksilber sich auf 760 mm einstellt, so bezeichnet man diese Zahl als den Normaldruck. Gar manche scheinbare Verbesserungen des einfachen Grundprinzipes, so Huygens' Doppelbarometer [25], Hooke's Radbarometer [26], Morland's Schnellwagenbarometer [27], haben sich, so sinnreich sie auch erdacht waren, nicht zu behaupten vermocht, vielmehr sind die Baro-

meter gegenwärtig ausnahmslos entweder Gefässbarometer oder Heberbarometer. Fig. 24 a versinnlicht die erstgenannte Kategorie, deren Unterart das in Fig. 24 b dargestellte Phiolenbarometer ist, während wir in Fig. 24 c das Heberbarometer vor uns sehen. Alle diese Instrumente eignen sich mehr zur stabilen Aufstellung, als zur Verwendung auf Reisen; das bequemste Reisebarometer (Fig. 24 d) ist von Gay-Lussac angegeben: „Die beiden Schenkel sind hier durch ein angeschmolzenes, enges Gasrohr verbunden; der kürzere wird am Ende zugeschmolzen, und in einer Entfernung davon, welche ungefähr dem dritten Theile seiner Länge gleich ist, mit einer sehr feinen Oeffnung versehen, welche der Luft den Eintritt, nicht aber dem Quecksilber den Austritt verstattet [28]." Auch Wild hat durch Umformung des bekannten Fortin'schen Gefässbarometers ein leicht zusammenlegbares und deshalb für Reisezwecke geeignetes Instrument konstruirt [29]. Seebarometer sind Gefässbarometer, deren Rohr nur am oberen Theile die Weite eines gewöhnlichen Barometers besitzt, während das übrige Rohr sehr verengert ist [30]. Selbstverständlich ist jedes Barometer nur so lange zuverlässig, als der oberhalb der Quecksilberkuppe sich bildende Hohlraum, die Torricelli'sche Leere, wirklich ganz luftleer ist*). Jede Ablesung muss auf den Nullpunkt der Temperatur reducirt werden. Sind b_0 und b die Barometerstände für die Temperaturen von 0° und t°, und ist β der Ausdehnungskoefficient des Quecksilbers, so ist

$$b_0 = \frac{b}{1 + \beta t} = b - \frac{b \beta t}{1 + \beta t} = b - b \beta t,$$

da der Nenner jetzt ohne Fehler = 1 gesetzt werden kann. Damit nicht auch die Ausdehnung der Metallskale in Rechnung gezogen werden muss, ist es vortheilhaft, die Theilstriche gleich auf der Röhre selbst einzuätzen. — Von Aneroidbarometern sind zweierlei Arten zu unterscheiden: Vidi's Dosen-Aneroid und Bourdon's Röhren-Aneroid. Ersteres wird auch Holosterikbarometer, letzteres kurzweg Metallbarometer genannt. Beide Gattungen beruhen auf dem Fundamentalsatze der Elasticitätslehre, welchem zufolge elastische Platten

---

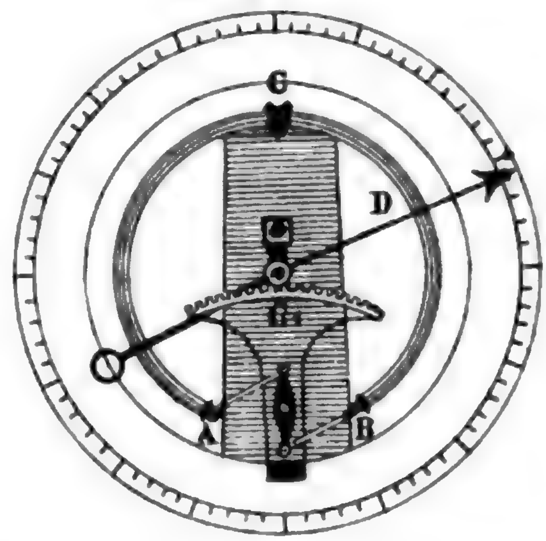
*) Der Theorie nach ist sie es, nur Quecksilberdämpfe können sich in dem betreffenden Raume bilden, und, um diese möglichst zu vermeiden, muss die Reinheit der verwendeten Flüssigkeit eine tadellose sein. Die in Luftpumpen herzustellende (Guericke'sche) Leere kann niemals eine vollkommene sein, denn wenn die Kubikinhalte des Stiefels einer Luftpumpe mit a, des Recipienten (sammt den Kanälen) mit b und des sogenannten schädlichen Raumes mit c bezeichnet werden, so ist nach n alternirenden Kolbenbewegungen die Dichte der noch vorhandenen Luft, deren Dichte anfänglich gleich der Einheit war, noch gleich

$$\left(\frac{b}{a + b + c}\right)^n + \frac{c}{a + c}\left[1 - \left(\frac{b}{a + b + c}\right)^n\right]$$

Dieser Werth würde also erst für ein unendlich grosses n und für c = 0 zu Null werden. Ueber die Torricelli'sche Leere haben W. Förster [31] und Grunmach [32] feinere Untersuchungen angestellt; die Methode und ihr nächstes Resultat kennzeichnet Letzterer (a. a. O.) mit diesen Worten: „Um Sicherheit zu haben, dass über der Quecksilbersäule sich ein vollkommenes Vakuum befinde. d. h. dass der dortselbst noch etwa ausgeübte Druck einzig und allein durch Quecksilberdämpfe ausgeübt werde, wird oben an die Barometerröhre eine Geissler'sche Röhre angeschmolzen ... Der Betrag des von den Quecksilberdämpfen ausgeübten Druckes ist übrigens nach E. B. Hagen's Versuchen ein geringerer. als nach den Regnault'schen Formeln angenommen werden sollte."

oder Röhren unter Einwirkung einer beliebigen Druckkraft sich derart biegen, dass innerhalb gewisser Grenzen die Biegung dem Drucke proportional bleibt. Das Holosterik besteht aus einer luftleer gemachten Metalldose, der Deckel derselben ist elastisch und wird durch den wachsenden Luftdruck mehr und mehr in das Innere hereingedrückt, während ein Hebelwerk diese Bewegung auf einen längs einer Skale spielenden Zeiger überträgt. Das Metallbarometer besteht aus einer luftleeren kreisförmigen Messingröhre AB (Fig. 25), deren Mitte C befestigt ist, während die freien Enden A und B bei wachsendem Drucke der Luft sich einander nähern, bei abnehmendem sich von einander entfernen. Die Art der Uebertragung auf den Zeiger D ist aus der Figur ersichtlich. Aneroide werden neuerdings mit grosser Vollkommenheit hergestellt; wie viel dieselben leisten, ersieht man sehr gut aus der Monographie von Höltschl [33]. Die meistversprechende Verbesserung, welche diese Gattung von Instrumenten erfuhr, ward ihr durch die von Kohlrausch eingeführten Variationsbarometer zu Theil [34]. Der luftleere Metallring eines Bourdon'schen Aneroides ist hier mit dem einen Ende an einem Halter fest angeschraubt, während das andere an einen kleinen Spiegel stösst, welcher selbst wieder an einem Streifchen Pendelstahl aufgehängt ist. An diesen Spiegel ist ein Flügel angelöthet, welcher die Schwingungen dämpfen soll und deshalb in Glycerin eintaucht. Die Skale der (Poggendorff'schen) Spiegelablesung ist 3 m vom Spiegel selbst entfernt, und da 25 Skalentheile auf 1 Millimeter des gewöhnlichen Quecksilberbarometers kommen, so ist die Genauigkeit der Ablesung eine sehr grosse. Die Empfindlichkeit des Werkzeuges war genügend, um die kleinen Druckschwankungen zu kontroliren, die einem Gewittertage eigenthümlich sind. Auch Röntgen hat, wie Kohlrausch bemerkt [35], ein Barometer mit Spiegel in Aussicht gestellt; nicht minder sind für die Konstruktion der Aneroide von anderer Seite her neue und beachtenswerthe Gesichtspunkte aufgestellt worden *).

Fig. 25.



d) **Hygrometer und Psychrometer.** Eine kaum minder wichtige Klasse von meteorologischen Instrumenten sind diejenigen, welche dazu dienen, die Luft auf ihre absolute oder relative Feuchtigkeit zu prüfen. Lange Zeit hindurch waren die hiezu angewandten Apparate allerdings nicht Hygrometer im strengen Wortsinne, sondern blosse Hygroskope; sie zeigten an, dass der Wasserdampf der Luft stärker oder

*) Nach Schwirkus, der im Auftrage der Normal-Aichungs-Kommission die Unzulänglichkeit der Aneroide zu erforschen hatte [36], beruht dieselbe, wenigstens für die Holosteriks, hauptsächlich in der ungemein geringen Eigenbewegung der Büchse und in der viel zu sehr ausgesprochenen Neigung zu elastischen Nachwirkungen. Es wird deshalb auf das Princip der Flächenentlastung hingewiesen; man bringt zwei Büchsen an, deren grössere der Luftdruck eindrückt, während er die kleinere blos in die Höhe zieht.

minder stark entwickelt sei, als zu einer anderen Zeit, sie gestatteten aber nicht eine messende Verfolgung der Veränderungen. Das älteste Instrument, das wenigstens der Tendenz nach Messungen gestatten sollte, soll von der Accademia del cimento nach den Angaben des Grossherzogs Ferdinand II. konstruirt worden sein. E. Gerland hat es auf der Londoner wissenschaftlichen Ausstellung gesehen und beschrieben [37]; ein Gefäss ward mit Eis und Schnee gefüllt, das Schmelzwasser fliesst in einen darunter an Drähten aufgehängten Glaskegel mit seitlichem Ausflussrohr, durch welches eine etwaige Ueberfülle von Wasser abgeführt wird. Das an der Spitze des Glaskegels aus der Luft verdichtete Wasser fällt sofort in ein darunter stehendes graduirtes Rohr, und die Menge des in letzterem enthaltenen Wassers soll das Maass der Feuchtigkeit darbieten. So unvollkommen die Vorrichtung auch war, so verhalf sie den Akademikern gleichwohl schon zu der Feststellung der Thatsache, dass der Südwest der feuchteste aller Winde sei. Die Folgezeit gieng von dem wohldurchdachten Principe der Florentiner ab und beeiferte sich, hygroskopische Substanzen aufzufinden. So verwendeten Molyneux, Sturm, Da St. Martino thierische Gegenstände (Saiten, Goldschlägerhäutchen) [38], Deluc erfand das Elfenbeinhygrometer [39], Saussure das Haarhygrometer [40]*), der ältere Lowitz das Schieferhygrometer, u. s. w. Für das Pflanzenreich (Seile, Holzfasern, Pflanzengrannen) entschieden sich Leupold, v. Wolf [42], Leslie und Maignan [43], und noch in jüngster Zeit ist uns durch Klinkerfues' Bifilarhygrometer der Nachweis geliefert worden, wie viel mechanisches Talent auch mit unvollkommenen Mitteln obiger Art auszurichten vermag [44]. Für das Mineralreich endlich (Kochsalz, Schiefer, Schwefelsäure) erklärten sich Lampadius, Lowitz und De la Rive [45]. Saussure (s. o.) und Lambert [46] entwickelten mit Glück die wissenschaftlichen Grundsätze der Hygrometrie, und Regnault baute [47] auf dem von ihnen gelegten Grunde mit vielem Erfolge fort. Daniell gab einen Apparat an [48], welcher als Schwefelätherhygrometer bekannt ist und den Thaupunkt der Luft unmittelbar zu bestimmen gestattet. Weitaus den grössten Fortschritt verdankt die praktische Hygrometrie jedoch August [49]. Dessen Psychrometer besteht aus zwei Thermometern**) von völlig gleicher Konstruktion, die auf einem und demselben Brette neben einander befestigt sind. Das eine derselben, das trockene Thermometer, dient nur zur Bestimmung der Lufttemperatur, das feuchte Thermometer dagegen besitzt einen Ueberzug von dünnem und absorptionsfähigem Zeugstoffe, welcher während der Beobachtung nass ist, resp. mit einer dünnen Eisschicht sich bedeckt. Selbstverständlich können unter diesen Umständen die Thermometer nicht gleichhoch stehen, und die Differenz der Thermometerstände

---

*) R. Wolf giebt an [41], dass die erste Idee des (Mumien-) Haarhygrometers von 1775, die endgültige Konstruktion von 1780 datirte, während die Beschreibung der neuen Erfindung erst drei Jahre nach letzterem Termine an das Licht kam.

**) Es liegt, wie wir uns gar nicht verhehlen, eine kleine Inkonsequenz darin, dass wir hier schon von Thermometern sprechen. Indess ist diess wohl an und für sich so sehr gestattet, dass wir um dess willen nicht von der alphabetischen Anordnung abzugehen brauchten.

ist eben das für uns Wichtige. Sind nämlich bei b mm Barometerstand t_1 und t_2 die Angaben des trockenen und des benetzten Thermometers, e_1 und e_2 die diesen Temperaturen entsprechenden Spannkräfte des Wasserdampfes, so ist für gewöhnlich nach den von August entwickelten Formeln

$$E = e_2 - 0{,}000804\, b\, (t_1 - t_2),$$

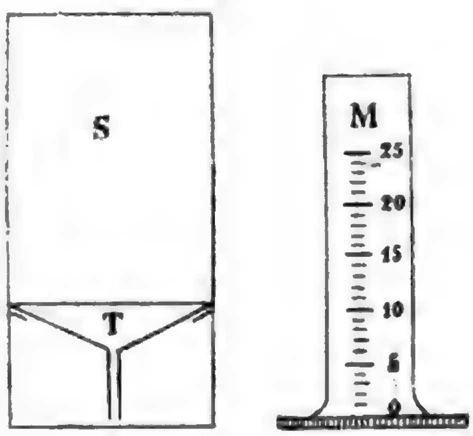
dann aber, wenn die Wasserhülle der benetzten Kugel gefroren ist,

$$E = e_2 - 0{,}000748\, b\, (t_1 - t_2)$$

die absolute Feuchtigkeit, während $\frac{E}{e_1}$ die relative Feuchtigkeit vorstellt. August's Psychrometer leistet somit Alles, was von einem Feuchtigkeitsmesser zu fordern ist.

e) **Ombrometer.** Dieselben (auch Udometer oder Hyetometer genannt) dienen zur Messung der als Regen oder Schnee ausgeschiedenen Wassermengen; dass zwischen diesen beiden Niederschlagsformen kein Unterschied gemacht wird, ist wohl an sich klar. Bei keinem anderen Instrumente ist die Geschichtsforschung eine gleich geringe Verschiedenheit der Konstruktionsmodalitäten nachzuweisen im Stande, im Ganzen machte man es von jeher so, wie man es noch heute macht, und wie es nachstehend beschrieben wird [50]. Ein nach oben offenes Gefäss S (Fig. 26) wird unten durch einen Trichter T mit dünner Röhre abgeschlossen, durch welche man nach der bestimmten Zeit den Gesammtinhalt des Regen- oder Schmelzwassers in das Messglas M ablassen kann. Fehlerquellen sind für die Ombrometer in leider ziemlich reichlicher Menge vorhanden. Dines verglich z. B. [51] die Regenquanta, welche von zwei verschiedenen Regenmessern geliefert wurden, deren einer nahe dem Erdboden, der andere aber 15 m hoch, auf der Plattform eines Thurmes, seinen Aufstellungsplatz hatte. Das Verhältniss der beiden Mengen war im Verlaufe eines Jahres $= \frac{100}{127}$. Dines hält dafür, dass die Differenz 27 durch den in höheren Regionen stärker wehenden Wind veranlasst sei, der Wirbelbewegungen um den Apparat herum veranlasse und den Regen seitwärts abtreibe. Aehnliche Wahrnehmungen über die Unsicherheit der gewöhnlichen ombrometrischen Messungen hat die Expedition gemacht, welche nach dem Kingawa-Fjord entsandt war.

Fig. 26.

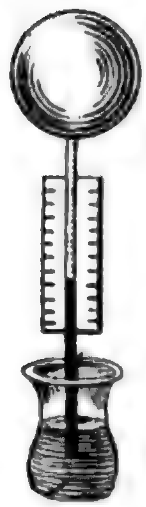


f) **Ozonometer.** Die praktische Ozonometrie hat sich trotz der Bemühungen eines Osann [52], Prestel, Lender u. a. nur wenig über den von dem Entdecker Schönbein (Kap. I, §. 2) bereits erreichten Standpunkt erhoben. Noch immer werden der Luft sogenannte Ozonpapiere ausgesetzt, welche, je nachdem die Ozonreaktion der Atmosphäre eine mehr oder minder starke ist, eine mehr oder minder starke blaue Färbung erfahren. Zur Vergleichung dient gewöhnlich noch die Schönbein'sche Skale. „Wir sind aber gegenwärtig noch nicht im Stande, den ‚Ozongehalt' der Luft wirklich zu messen, und die bis-

herigen Beobachtungsresultate mittelst der sogenannten Ozonometer gestatten kaum Vergleichungen und weitergehende Schlüsse [53]."

g) **Thermometer.** Ueber die Erfindungsgeschichte dieses Instrumentes werden noch vielfach die alten unrichtigen Behauptungen zu Markte gebracht, obwohl durch eine mit gewohnter Sorgfalt durchgeführte Quellenuntersuchung Wohlwill's [54] der Thatbestand längst als geklärt gelten könnte*). Es ist belehrend zu sehen, wie die vage Angabe von einem Drebbel'schen Thermometer zuerst ganz beiläufig auftaucht, wie aber dann immer ein Schriftsteller den anderen kritiklos kopirt. Auch Fludd und Francis Bacon haben das Thermometer, welches zwischen 1617 und 1619 seinen Einzug in England hielt, erst verhältnissmässig spät kennen gelernt [56]. Es kann nach den Forschungen von Nelli [57] und Libri [58] heute keinem Zweifel mehr unterliegen, dass Galilei mit der ersten Konstruktion eines auf der Ausdehnung der Körper beruhenden Wärmemessers bereits um 1597 im Reinen war, dass er aber erst 1603 den Pater Castelli in sein Geheimniss einweihte, wie er denn im Drucke niemals etwas über dasselbe mittheilte. Die ersten Thermometer, die öffentlich gezeigt wurden, waren Luftthermometer (Fig. 27); eine Röhre A, an welche eine Kugel angeblasen war, wurde in der angegebenen Weise in ein mit Wasser oder Weingeist gefülltes Gefäss B gestellt, und je nachdem diese Flüssigkeit sich ausdehnte oder zusammenzog, trieb sie die Luft in der getheilten Röhre A zurück oder gewährte ihr Spielraum, sich selbst wieder auszudehnen. Da dieses Thermometer offenbar zugleich als Barometer wirkte, so schmolzen die Mitglieder der florentinischen Akademie die Röhre zu, stellten diese aufrecht, so dass die Kugel nach unten kam, und erhielten so in dem Steigen oder Fallen des eingeschlossenen gefärbten Weingeistes ein wirkliches Maass für die Schwankungen der umgebenden Temperatur**). Vergleichbare Thermometer im modernen Sinne waren auch diese „florentinischen" allerdings noch nicht, sondern mehr nur Thermoskope, denn noch fehlte es für die Skale an solchen Fixpunkten, die nicht blos einen lokalen Werth besassen, sondern zu jeder Zeit und an jedem Orte ihre Bedeutung beibehielten. Das Verdienst, nach solchen Fixpunkten mit Erfolg gesucht zu haben, gebührt Fahrenheit und Réaumur wohl zu gleichen Theilen [60], und zudem machte der Erstgenannte auch die für die Praxis folgenreiche Wahrnehmung, dass sehr viel besser

Fig. 27.



*) Der Orientalist Khanikoff, der Alkhazini's „Buch von der Wage der Weisheit" übersetzt und bearbeitet hat [55], ist der Meinung, dass jener Autor schon einen Begriff von thermometrischen Vorrichtungen gehabt habe (vgl. I. Band, S. 9).

**) Es ist möglich, ja selbst wahrscheinlich, dass der grosse Fortschritt, welcher in der Ersetzung des offenen durch das geschlossene Thermometer gelegen ist, ebenfalls durch Galilei angebahnt ward, und dass die Akademiker hier, wie in so manchen anderen Fällen, nur auf den Schultern ihres grossen Landsmannes standen. Wenigstens sagt Libri [59]: „Das geschlossene Thermometer fand ich zum erstenmale erwähnt in einem 1611 zu Rom geschriebenen Bande der Bibliothek des Arsenales (zu Paris), welcher mit Nr. 20 der italienischen Handschriften bezeichnet ist."

Quecksilber als Alkohol zum Füllstoff für die Thermometer genommen werden könne. Die Thermometrie ward nunmehr Mode, und jeder Gelehrte, der sich mit ihr beschäftigte, erfand sich womöglich seine eigene Skale; Delisle, Deluc, Celsius, Micheli du Crest (vgl. I. Band, S. 295) sind als die bekanntesten unter der Schaar Gleichstrebender zu nennen, und der Letztere z. B. war so glücklich, seine Eintheilung von dem berühmten Naturforscher S'Gravesande und von dem Mechaniker Brander als die zweckdienlichste anerkannt zu sehen [61]. Heute jedoch haben sich nur noch die Skalen von Celsius, Réaumur und Fahrenheit zu behaupten vermocht; die erstere ist im wissenschaftlichen Leben die allein angenommene, nach Réaumur pflegt sich das Publikum in Deutschland und Frankreich vorzugsweise zu richten, während Grossbritannien, die dortige Gelehrtenwelt mit inbegriffen, mit einer nicht eben rühmenswerthen Zähigkeit an Fahrenheit festhält. Die beiden zuerst erwähnten Systeme stimmen grundsätzlich darin überein, dass die den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des destillirten Wassers als die beiden Fixpunkte annehmen, nur theilt Réaumur den Zwischenraum in 80, Celsius in 100 gleiche Theile oder Grade. Bei Fahrenheit zerfällt das gleiche Intervall in 200 gleiche Theile, allein sein Nullpunkt deckt sich nicht mit dem Gefrierpunkt, sondern ist noch um 32 Grade tiefer angesetzt, gewissen irrthümlichen Anschauungen zu liebe, welche sich der Danziger Mechaniker über konstante grösste Winterkälte gebildet hatte. Zum Umformen aus einem thermometrischen Systeme in das andere dienen hiernach die Relationen:

$$x^0\,C. = \frac{4x^0}{5}\,R. = (2x^0 + 32^0)\,F.$$

Die Prüfung der Quecksilberthermometer, neben welchen sich übrigens die Alkoholthermometer noch immer im Gebrauche zu erhalten gewusst haben, wird mit Hülfe der für die Praxis nicht passenden, durch die gleichförmige Ausdehnung ihres Stoffes aber für Vergleichszwecke wohl geeigneten Luftthermometer vorgenommen. Wenigstens hat Grunmach ermittelt [62], dass zwischen 0° und 100° die Abweichungen des Luftthermometers im Allgemeinen geringfügiger sind, als diejenigen des Quecksilberthermometers, und dass die Hauptabweichung bei 30° liegt. Zur Messung von Temperaturen, die unter — 40° hinabreichen, ist allerdings das Quecksilber unbrauchbar, da es alsdann gefriert, und wohl oder übel muss man sich dann mit einem Weingeistthermometer begnügen, welches jedoch mit einem Normalthermometer vorher sorgfältig verglichen sein muss [63]*). — Von

---

*) Anhangsweise bedarf es auch noch einiger Worte über die Art der Vornahme thermometrischer Beobachtungen. Man hat eigene Ständer oder Blechgehäuse zur Aufnahme der Instrumente konstruirt, die an der Nordseite eines Gebäudes so aufgehängt sein sollen, dass weder Regen und Schnee, noch auch direkte oder reflektirte Sonnenstrahlung auf die Thermometerkugel einwirken kann. In England werden die Stevenson'schen, in der Schweiz, in Russland und vielfach auch in Deutschland die Wild'schen Ständer gebraucht [64]. Die von Lamont gemachte Entdeckung, dass ein beliebig im Freien aufgehängtes Thermometer eine ganz merkwürdige Uebereinstimmung mit einem unter Beobachtung aller Vorsichtsmaassregeln aufgestellten Thermometer zeigt, hat aber auch auf das sogenannte Schleuderthermometer geführt; man befestigt das Instrument an einem Faden und schwingt es herum, worauf seine Angaben

den Metallthermometern wird demnächst bei den Selbstregistratoren eingehender zu sprechen sein; den Anfang, diese schon damals nicht mehr neuen Instrumente wirklich brauchbar für Messungszwecke zu gestalten, dürfte wohl der Schotte Fitzgerald [67] gemacht haben, indem er vier Metalllamellen kreisförmig aneinanderlöthete — das Princip von Prinsep's Pyrometer — und die Bewegungen des Endes von einem Hebelwerk auf einen Zeiger übertragen liess.

§. 2. **Meteorographen.** So oder auch meteorologische Automaten und Selbstregistratoren nennt man jene Vorrichtungen, welche entweder gewisse extreme Werthe der meteorologischen Elemente oder auch deren laufende Werthe — sei es für gewisse bestimmte Termine, sei es kontinuirlich — aufzuzeichnen bestimmt sind. Die Anfangsstadien in der Konstruktion derartiger Instrumente markirt jenes hodometrische Princip, dessen wir oben bei den Windflügeln Erwähnung zu thun hatten. Speziell für das Element der Wärme ist man schon frühzeitig von einem anderen Gesichtspunkte ausgegangen, wie Rutherford's 1794 erfundenes Maximum- und Minimumthermometer [68] beweist. Auf demselben Brettchen sind zwei gewöhnliche Thermometer so angebracht, dass die parallelen Axen der Röhren horizontal zu liegen kommen. Das Maximumthermometer ist mit Quecksilber gefüllt, und dieses Metall wird bekanntlich vom Glase abgestossen, so dass sich ein sogenannter Meniskus bildet; unmittelbar vor diesem, die Wölbung tangirend, liegt ein kleiner Stahlstift. Das sich ausdehnende Quecksilber schiebt denselben immer vor sich her, und wenn es sich wieder zurückzieht, so bleibt der Stift an dem Punkte liegen, welcher für den Beobachtungstermin — gewöhnlich ist es ein Tag — die höchste Temperatur repräsentirt. Der Weingeist, mit welchem das Minimumthermometer gefüllt ist, steht umgekehrt zu der Glaswand im Verhältnisse der Kapillarattraktion; legt man also in die Flüssigkeit ein Glasstäbchen so, dass es die Kapillarhaut im Mittelpunkte der Konkavität berührt, so wird dasselbe von eben jenem Häutchen beim Rückgange des Alkohols selbst mit zurückgenommen und bleibt am Punkte der niedrigsten Temperatur ruhig liegen. Als Verbesserungen dieses noch jetzt vielfach gebrauchten Werkzeuges können das Six'sche und in noch höherem Grade das Kappeller'sche Maximum- und Minimumthermometer gelten, welch' letzteres nach Breitenlohner's Beschreibung aus zwei durch einen kapillaren Quecksilberfaden getrennten Weingeiströhren besteht und sich durch besonders leichte Ablesbarkeit auszeichnen soll [69]. Ein Magnet führt die Indices, wenn der Beobachtungszeitraum verflossen ist, wieder auf ihren richtigen Stand zurück.

Kreil's Registrirapparate waren demselben Grundsatze angepasst, nach welchem wir (I. Band, S. 387) bereits seinen Seismographen eingerichtet sahen [70]. Bei Kreil war zunächst Papier die Masse, in welche der Schreibgriffel seine Kurven einzeichnete, Lamont aber fand es [71] vortheilhafter, einen Stahlstift an einer berussten, rotiren-

---

von jenen eines im Ständer befindlichen Thermometers kaum $\frac{1}{3}$" abweichen [65]. Assmann schlägt vor [66], in ähnlicher Weise auch am Schleuderpsychrometer zu beobachten.

den Walze hingleiten zu lassen. Auch Hipp und Wild verfuhren ähnlich bei ihrem selbstregistrirenden Metallthermometer, welches in einer anderen Beziehung auch lebhaft an das in §. 1 geschilderte Kohlrausch'sche Variationsbarometer erinnert; das eine Ende einer vielfach gewundenen Spirale ist fest eingeklemmt, während das andere eine Nadel führt, welche die Ausdehnung der Spiralfeder auf die Oberfläche des drunter gleitenden Papieres überträgt und auf ihm sozusagen den Gang der Tagestemperatur verzeichnet [72]. Natürlich bedarf es dann noch einer kleinen mathematischen Betrachtung, um aus dem Abstand der markirten Punkte auf die entsprechende Temperatur schliessen zu können [73]. Hier ist die Kurve also keine stetige, vielmehr setzt sie sich erst aus einzelnen diskreten Punkten zusammen, und das Princip des abrollenden Papierstreifens ist im Wesentlichen ganz das des Morse'schen Telegraphen. Wild hat für das Berner Observatorium ähnlich gebaute Barometer, Ombrometer, Hygrometer und Anemometer ausführen lassen. Secchi war wohl der Erste, der die verschiedenen Selbstregistratoren gewissermassen als Theile eines einzigen Universalapparates, eben des Meteorographen, darzustellen wusste [74]: bei seinem Barometer ward der Luftdruck nicht durch die Länge der Säule, sondern durch das veränderliche Gewicht der Quecksilbermasse gemessen (Wagebarometer), und durch Anwendung des aus der Dampfmaschinenlehre bekannten Watt'schen Parallelogrammes*) ward es ermöglicht, die Bewegung des Schreibstiftes zu einer geradlinigen zu machen. Schreiber dehnte Secchi's Methode der Wägung auch auf die Wärmemessung aus und erfand [76] ein aus dünnwandigem Kupferbleche gefertigtes Luftthermometer. Dasselbe ist durch eine Bleiröhre mit einem oben geschlossenen Glasrohre verbunden, welches theilweise mit Quecksilber gefüllt ist. Unten offen, taucht die Thermometerröhre ebenfalls in ein Quecksilbergefäss. Da die oben geschlossene Röhre äquilibrirt über einer leicht beweglichen Rolle hängt, so wird jede Ausdehnung der Luft, welche auch einen Austritt von Quecksilber im Gefolge hat, den Gleichgewichtszustand ändern, und die Vorrichtung des Selbstregistrirens kann ganz in derselben Art und Weise angebracht werden, wie bei'm Wagebarometer. Zu hoher Vollendung ward die Idee des automatischen Aufzeichnens gebracht durch den Schweden Theorell [77] und durch den Niederländer van Rysselberghe [78]. Die Maschine des Ersteren druckt sofort die Angaben der einzelnen Instrumente in Ziffern und macht dadurch irgendwelche Reduktionen überflüssig. Windfahne, Windstärkemesser, Psychrometer, Barometer und Thermometer sind jeweilig an der für sie passenden Stelle untergebracht und stehen mit dem Hauptapparate in elektrischer Verbindung, durch welche ausschliesslich die Beobachtungszeiten notirt werden. Täglich erhält man solchergestalt 96

---

*) Diese geistreich ausgedachte Stangenverbindung verwandelt allerdings die rotatorische Bewegung nur annähernd genau in eine translatorische; wie gross die Abweichung ist, hat v. Langsdorf berechnet [75]. Die Fortschritte der geometrischen Kinematik in der Neuzeit — es genüge, die Namen Peaucellier, Liguine, Laisant, Burmester zu nennen — haben es jedoch möglich gemacht, durch eine Kombination von Stäben Bewegungsmechanismen fertigzustellen. durch welche der von James Watt angestrebte Zweck in aller Strenge erreicht wird.

Einzeldaten. van Rysselberghe substituirt dem numerischen das graphische Princip, indem er die Gangkurven der einzelnen meteorologischen Instrumente auf Metall zeichnen lässt und von den so gravirten Platten nach Belieben Abzüge nimmt. Eine neue handliche Form für den Thermographen sowohl [79], wie auch für den Barographen (mit Laufgewicht) [80] ist nach Sprung's Angaben von der deutschen Seewarte adoptirt worden.

In Kew, dem berühmten astro- und geophysikalischen Observatorium Englands, wird, wie wir schon in Kap. II, §. 9 erfuhren, mit Erfolg die Methode der photographischen Selbstaufzeichnung befolgt. Denken wir uns, photographisches Papier werde mit konstantischer Geschwindigkeit vor der Säule eines Barometers oder Thermometers vorübergeführt, während es zugleich der vollen Sonneneinwirkung ausgesetzt ist, so wird auf dem präparirten Papiere eine Kurve entstehen, welche die variablen Höhen jener Säulen ganz direkt durch ihre verschiedenen Ordinaten zur Anschauung bringt.

§. 3. **Beobachtungspläne.** Sehr viel kommt darauf an, dass die meteorologischen Beobachtungen einen einheitlichen und vergleichbaren Charakter erhalten. Insbesondere ist diess nöthig bei klimatologischen Forschungen; hier ist es absolute Nothwendigkeit, dass die Temperaturmittel nur aus solchen Beobachtungen gebildet werden, welche für alle in Betracht kommenden Orte zur nämlichen Tagesstunde gemacht wurden. Ueber die relativ beste Wahl dieser Stunden war man bisher in ziemlicher Unklarheit. In Bayern z. B. drückte man das tägliche Temperaturmittel W, unter m das Notat des Minimumthermometers verstanden*), durch

$$W = \frac{8^{ha} + 2^{hp} + 8^{hp} + m}{4}$$

aus, während Württemberg und Baden, wie schon vordem die Societas Palatina des Abtes Hemmer, die Formel

$$W = \frac{7^{ha} + 2^{hp} + 2 \,.\, 9^{hp}}{4}$$

zur Grundlage ihrer Berechnungen wählten. Veranlasst durch einige von Hann geäusserte Bedenken, unterzogen Erk und v. Bezold [81] die strittige Frage einer gründlichen theoretischen Prüfung und erkannten, dass die zwei besten Kombinationen durch

$$W = \frac{7^{ha} + 2^{hp} + 2 \,.\, 9^{hp}}{4}, \text{ resp. } W + \frac{8^{ha} + 2^{hp} + 2 \,.\, 10^{hp}}{4}$$

dargestellt werden [82].

Neues Leben in die auf die Herstellung und Realisirung umfassender meteorologischer Beobachtungspläne gerichteten Bestrebungen hat die immer mehr in den Vordergrund des geographischen Interesses gerückte Polarforschung gebracht, für welche Neumayer die Parole ausgab [83]: „Es muss im Einklange, d. h. in gemeinschaftlicher Organisation, vorgegangen werden, um im Herzen der Polarregionen in Observatorien, die während einer längeren Periode in Thätigkeit zu sein hätten, die verschie-

*) 8^{ha} bedeutet die achte Stunde Vormittag (hora antemeridiana), 2^{hp} die zweite Nachmittagstunde (hora postmeridiana).

denen Aufgaben der Physik unserer Erde zu lösen." Das Programm der fünfzehn stabilen Expeditionen, welche seither bekanntlich mit reichen — wenn auch grossentheils noch unverarbeiteten — Ergebnissen sämmtlich zurückgekehrt sind*), setzte nach Börgen [84] Folgendes fest: Die Beobachtungen beginnen am oder möglichst früh nach dem 1. August 1882 und erstrecken sich möglichst weit in den September 1883 hinein; die meteorologischen Beobachtungen erfolgen allstündlich und fassen in's Auge die Temperatur der Luft, diejenige des Meerwassers sowohl an der Oberfläche, als auch in Tiefenabständen von 10 zu 10 m, Luftdruck, Feuchtigkeit (durch Psychro- und Hygrometer zu messen), Windverhältnisse (nach Robinson), Bewölkung nach Form, Menge und Zugrichtung, Niederschläge nach Art, Dauer und Quantität), Witterung im Allgemeinen, Gewitter, Nebel, Hagel, Reif und optische Erscheinungen; auch der terrestrischen und astronomischen Refraktion soll, wenn möglich, Beachtung geschenkt werden. Alle Beobachtungen, welche sich selbst registrirten, mussten gleichwohl grösserer Sicherheit halber noch von Stunde zu Stunde ihre Kontrole durch Vergleich mit dem bezüglichen Normalinstrumente erfahren.

Selbstverständlich genügen genaue Messungen nicht an und für sich, ihren wahren Werth erhalten dieselben vielmehr erst durch die darauf sich gründenden Berechnungen. Auch von deren Wesen gedenken wir dem Leser einige Vorstellung zu vermitteln; zuvor aber haben wir noch gewisser hochwichtiger Anwendungen der zwei meteorologischen Hauptinstrumente zu gedenken.

§. 4. **Die barometrische Höhenmessung.** Kaum hatte Torricelli (s. o. §. 1) in dem Barometer ein zur Messung der Luftdruckveränderungen geeignetes Werkzeug an die Hand gegeben, so erkannte auch schon der berühmte französische Mathematiker Pascal die Möglichkeit, dasselbe zum Messen von Höhen zu verwenden. In grösserer Entfernung von der Erdoberfläche, so sagte er sich, ruht auf dem äusseren Quecksilberspiegel eine geringere Luftmasse, als tiefer unten, demnach wird mit wachsender Höhe auch der Luftdruck ein geringerer werden, und es wird sich diese Thatsache durch ein stetiges Sinken

*) Wiewohl vielleicht nicht in aller Strenge hierher gehörig, dürften doch an diesem Orte wohl ganz passend einige Nachrichten über das jetzt acceptirte System internationaler Polarforschung ihren Platz finden, durch welches der physischen Geographie eine neue Aera des Fortschrittes gewährleistet erscheint. Es wurden 1882 im Ganzen 15 Expeditionen ausgeschickt. Der Kingawa-Fjord in Grönland, die Missionsstation Nain in Labrador und Südgeorgien wurden von Deutschland, Lady-Franklin-Bay und Point-Barrow von der Union, Godthaab auf der grönländischen Westküste von Dänemark, Jan Mayen von Oesterreich (resp. vom Grafen Wilczek), Kap Thordsen auf Spitzbergen von Schweden, Bossekop in Finnmarken von Norwegen, Sodankylä von der einheimischen (finnischen) Akademie, Möller-Bay auf Novaja-Semlja sammt der Lenamündung von Russland, Fort Roon von England, Kap Hoorn von Frankreich übernommen. Zur Ergänzung dienten die regelmässigen Beobachtungen an einer Anzahl europäischer, afrikanischer und amerikanischer Sternwarten; ausserdem aber waren gewisse Verbindungsstationen eingeschaltet (Preobrajensk, Werchojansk, Orlensk, Orlekminsk, Witimsk, Kirensk und Nachtuisk in Sibirien, Wasa, Kuopio und Wartsilä in Finnland, Montevideo, Paysandu, Buenos Aires, San Nicolas und Carmen in Südamerika), und auch Port Stanley hatte die deutsche Seewarte mit einem Beobachtungsposten besetzt.

der Quecksilbersäule in der Barometerröhre offenbaren. Ihm selbst stand in Paris keine grössere Höhe, als diejenige der Notredame-Thürme zur Verfügung, doch schien Pascal ein erster Versuch bei'm Besteigen dieser Thürme Günstiges zu versprechen, und so wandte er sich denn an einen Verwandten, Perier, der unweit des Puy de Dôme in der Auvergne wohnte, und bat ihn, die Barometerhöhen am Fusse und auf der Spitze jenes Berges mit einander zu vergleichen. Perier kam diesem Wunsche nach, und sein Ergebniss war, wie Pascal in seinem Berichte und später in einem für die Begründung der Hydrostatik maassgebenden Werke [85] berichtet, dass oben auf dem Berge die Säule um „3 pouces ½ ligne" (3′ 0,05″) tiefer stand, als gleichzeitig in der Stadt Clermont, wo man eine Korrespondenzbeobachtung angestellt hatte [86]. Der Nächste, welcher auf dem hiedurch vorgezeichneten Wege weiter schritt, war Sinclair, der mit seinem Barometer sowohl Erhöhungen, wie auch Vertiefungen (Bergwerke) aufsuchte [87]. Das Wagniss, auch an das umgekehrte Problem heranzutreten und aus dem Stande des Barometers auf die erreichte Höhe zu schliessen, war natürlich ein weit grösseres; Scheuchzer, der zuerst wirkliche Höhenbestimmungen auf diese Weise zu machen gedachte, wusste noch nichts von dem Mariotte'schen Gesetze und fand demgemäss das etwas ungeheuerliche Resultat, dass, wenn an zwei Orten von der Vertikaldistanz h die Barometerstände b_1 und b_2 ($b_1 > b_2$) abgelesen werden, $h = 11520\,(b_1 - b_2)$ sei [88]. Korrekter gieng Mariotte zu wege [89], indem er die absolute Seehöhe eines Ortes, an welchem die Ablesung b gemacht war, durch

$$h = \frac{5}{4032}\left(\frac{1}{4032} + \frac{1}{4031} + \frac{1}{4030} + \cdots + \frac{1}{4032 - b + 1}\right)$$

ausdrückte, ohne freilich die Summirung seiner Reihe auch wirklich exakt leisten zu können*). Diejenige Formel, welche, sobald man von den allerdings nothwendigen Verfeinerungen und Korrektionen Abstand nimmt, den Sachverhalt richtig ausdrückt, und welche deshalb auch jetzt noch in allen auf elementarmathematische Behandlung angewiesenen Lehrbüchern ausschliesslich abgeleitet zu werden pflegt, stammt von Halley her [92]. Man gelangt zu ihr durch folgende Betrachtung. Man weiss (s. o. §. 1), dass der Normaldruck am Meeresspiegel 760 mm beträgt, während in einer 10 m höher gelegenen Schicht der Druck auf 759 mm abgenommen hat, und man denkt sich deshalb ein auf dem Meeresniveau aufruhendes (cylindrisches oder prismatisches) Stück der Atmosphäre, das bis an das jenseitige Ende derselben reicht, durch Parallelebenen von je 10 m Abstand in Zellen getheilt, deren jede ohne merklichen Fehler als mit Luft von gleicher Dichte erfüllt angenommen werden kann. Die Aenderung in der Dichte gienge mithin sprungweise an den Grenzflächen der Zellen vor sich. Auf dem Boden, an der 0ten Scheidefläche, ist der Druck $= 760 = 760 \,.\, \left(\frac{759}{760}\right)^0$ mm, an der 1ten Scheidefläche ist er $= 759 = 760 \,.\, \left(\frac{759}{760}\right)^1$ mm; bezeichnet

*) Mit welchem Rechte v. Lindenau [90] die Kenntniss eines ähnlichen Verhältnisses Townley zuschreibt, wissen wir nicht. Poggendorff hat offenbar diese Mittheilung blos aus jener Quelle [91].

man denjenigen von der 2ten Scheidefläche mit δ, so hat man nach Mariotte's Gesetz

$$\delta : 759 = 759 : 760;\ \delta = \frac{759^2}{760} = 760 \,.\left(\frac{759}{760}\right)^2 \text{mm.}$$

Jetzt ist das Fortschreitungsgesetz offenkundig, an der Grenzscheide der nten und (n + 1)ten Zelle ist der Druck $= 760 \,.\left(\frac{759}{760}\right)^n$, und es erhellt der eben von Halley gefundene Satz: Während die Höhen in arithmetischer Progression wachsen, nimmt der Luftdruck in geometrischer Progression ab. Zwei Orte, denen die Barometerstände b_1 und b_2 ($b_1 > b_2$) entsprechen, sind ihren Niveauflächen nach um hm entfernt, so dass zunächst die Gleichungen

$$b_1 = 760 \,.\left(\frac{759}{760}\right)^{n_1},\ b_2 = 760 \,.\left(\frac{759}{760}\right)^{n_2},\ h_1 = 10n_1,\ h_2 = 10n_2,$$

$$h_1 - h_2 = h$$

bestehen, wo h_1 und h_2 die absoluten Seehöhen der beiden durch die fraglichen Orte gelegten Horizontalebenen vorstellen. Die Logarithmirung ergiebt

$$n_1 = \frac{\log b_1 - \log 760}{\log 759 - \log 760},\quad n_2 = \frac{\log b_2 - \log 760}{\log 759 - \log 760}$$

und da, dem Obigen zufolge, $h = 10\,(n_2 - n_1)$ ist, so hat man auch zur Berechnung des Höhenunterschiedes aus den Barometerständen die Relation

$$h = \frac{10}{\log 760 - \log 759} \,.\log\left(\frac{b_1}{b_2}\right) = \text{Konst.} \log\left(\frac{b_1}{b_2}\right)$$

erhalten. Die Konstante, welche Halley, nicht nach neufranzösischem, sondern nach altenglischem Maasse rechnend, = 9719 setzte, wird natürlich ein für allemal vorausberechnet.

Die sehr zahlreichen und verschiedenartigen Etappen, welche die sogenannte barometrische Höhenformel auf ihrem Wege durchlief, bis sie ihre gegenwärtige Vollendung erreichte, können wir an diesem Orte natürlich nicht im Einzelnen schildern. Jacques Cassini, Scheuchzer in seinen späteren Publikationen, Celsius, Lambert, Maskelyne, Horrebow, G. E. Rosenthal, Hennert, Trembley, Kramp, ganz besonders aber Laplace [93] und Ramond [94], haben sich an dieser Vervollkommnungs-Arbeit betheiligt*). Deluc lehrte zuerst auch den Einfluss der Temperaturunterschiede zu berücksichtigen; seine bezügliche Formel, welche er durch Vergleichung einer Reihe barometrischer und trigonometrischer Vermessungen des Grand Salève bei Genf verificirte, ist, wenn wir die frühere Bezeichnung beibehalten, die Temperaturen an beiden Beobachtungsplätzen aber mit t_1 und t_2 bezeichnen, die folgende [98] (und zwar in Metern):

$$h = 17970 \,.\log\left(\frac{b_1}{b_2}\right).\left(1 + 0{,}002\,(t_1 + t_2)\right).$$

---

*) Wer sich über die allerdings sehr interessante Geschichte unseres Problemes des Näheren unterrichten will, findet höchst ausgiebige Literaturangaben in dem gleich nachher zu erwähnenden Werkchen von Rühlmann [95] und in dem von Brandes bearbeiteten Lexikon-Artikel „Höhenmessung" [96]. Ausserdem verdient nicht blos ihres geschichtlichen, sondern auch ihres sachlichen Inhaltes wegen eine ältere Schrift von Kästner [97] vollste Beachtung.

Die moderne Auffassung der Aufgabe lässt sich etwa folgendermassen in Kürze charakterisiren.

Bis zu der mit allen Hülfsmitteln exakter Forschung geführten Untersuchung von Bessel [99], diese selbst nicht ausgeschlossen, hatte man, wie oben geschehen, die auf das Barometer drückende Luftsäule als cylindrisch annehmen zu dürfen geglaubt. G. S. Ohm aber, der berühmte Begründer der mathematischen Theorie der galvanischen Ströme, hatte hiegegen Einsprache gethan und behauptet, die drückende Luftmasse habe die Gestalt eines Kegels, dessen Spitze im Centrum der Erde gelegen sei [100]. v. Bauernfeind unternahm, um über die Bedeutung dieses Einwandes in's Klare zu kommen — zugleich freilich noch aus verschiedenen anderen Gründen geophysikalischer Natur — sein berühmtes Nivellement des Miesing im bayrischen Hochgebirge und bewies in der die Ergebnisse seiner Arbeiten enthaltenden Schrift [101], dass Ohm's Zweifel nicht zu einem Abgehen von den bisher als zulässig erkannten Grundsätzen nöthige, und später hat sich herausgestellt, dass auch innere Gründe hiezu berechtigen. Guldberg [102] und v. Bauernfeind führten nämlich den Nachweis [103], dass Ohm den durch die kegelförmige Luftsäule auf die umgebende Luft ausgeübten Seitendruck ignorirt habe, und dass bei dessen Berücksichtigung die Differenz zwischen den beiden Anschauungsweisen sich aufhebe. Die schärfsten Untersuchungen über eine allen Anforderungen genügende Barometerformel haben v. Bauernfeind und Rühlmann (in seiner uns bereits bekannten Monographie) angestellt; die Differenzen der von beiden Gelehrten gewonnenen Resultate sind nicht erheblich und zudem von dem Erstgenannten zufriedenstellend aufgeklärt.

Für diese Formeln ist Nachstehendes zu beachten. Der allen gemeinsame Stock ist die Halley'sche Gleichung $h = \text{Konst.} \log \left(\frac{b_1}{b_2}\right)$, allein es muss noch ausserdem eine ganze Reihe von Faktoren mit einbezogen werden. Wie schon Deluc (s. o.) wusste, fällt die Temperaturverschiedenheit an den beiden Beobachtungsstationen in's Gewicht, die Schwere ist nicht für sämmtliche Punkte der Erde gleich, da ihr fast überall eine verschieden grosse Centrifugalbeschleunigung entgegenwirkt, weshalb auch die geographische Breite in die Schlussformel eingehen muss; dem Drucke des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes ist Rechnung zu tragen; auch die Verschiedenheit der dem Quecksilber eigenthümlichen Temperatur von der umgebenden Lufttemperatur fällt in's Gewicht. Von einem, strenge genommen, auch noch erforderlichen Zusatzgliede glauben wir hier absehen zu dürfen, da dasselbe immer nur sehr klein ausfällt. Die bisher uns geläufigen Bezeichnungen für Höhe, Barometerstände und Lufttemperaturen behalten wir bei; des Fernern wird durch R der Erdhalbmesser (bis zum Meeresspiegel), durch β die geographische Breite, durch t_1' und t_2' die bezügliche Quecksilbertemperatur, durch σ_1 und σ_2 jeweils die an beiden Stationen zu beobachtende Dampfspannung bezeichnet, und M bedeutet, da die Ableitung der Formel natürliche Logarithmen einführte, den Modulus des künstlichen Systemes. Diess Alles zusammengehalten, findet v. Bauernfeind [104] im Metermaass und mit Zugrundelegung der hunderttheiligen Thermometerskale

$$h = 18405 \,.\, \left[1 + 0{,}001835\,(t_1 + t_2)\right] \,.\, \left[1 + 0{,}0026 \cos 2\beta\right] \,.$$
$$\left[1 + \frac{3}{16}\left(\frac{\sigma_1}{b_1} + \frac{\sigma_2}{b_2}\right)\right] \times \left[\log\left(\frac{b_1}{b_2}\right) - \frac{t'_1 - t'_2}{25000} + 2M \,.\, \frac{h}{R}\right].$$

Allerdings ist selbst mit dieser so durchdachten und umfassenden Formel noch nicht Alles gethan. Schon Saussure und Ramond wussten, dass es nicht gleichgültig ist, zu welcher Tageszeit die in die Berechnung einzuführenden Barometerstände gemessen werden, aber erst durch v. Bauernfeind's planmässige Versuche kam völliges Licht in die Sache. Er fand, dass nur um 10 Uhr des Vormittages und um 4 Uhr des Nachmittages richtige Ablesungen vorgenommen werden können, wesentlich deshalb, weil früh Morgens und spät Abends die angewandten Thermometer in Folge des benachbarten erkalteten Bodens zu niedrige, zur Mittagszeit im Gegentheile zu hohe Temperaturen geben. Um richtige Temperaturangaben zu erzielen, ist für jede Stunde der Ablesung eine gewisse (positive oder negative) Korrektionsgrösse hinzuzufügen, welche der gedachte Autor sorgfältig ermittelt hat [105]. Wie sehr durch Vernachlässigung der barometrischen Anomalie die Resultate entstellt werden können, geht aus den Mittheilungen von Reiss [106] hervor; danach kann es, wenn man auf Flüssen von geringem Gefälle (z. B. dem Marañon) dahinfährt und die Barometerbeobachtungen kritiklos in's Tagebuch einträgt, geschehen, dass man nach tagelangem Stromabfahren scheinbar höher hinaufgekommen ist. Neuerdings hat sich Rühlmann auf das Eingehendste mit dieser Angelegenheit beschäftigt und für die tägliche Periode der barometrischen Höhenkurve gefunden [107], dass die so bestimmten Höhen ihr Maximum kurz vor der Zeit der höchsten Tagestemperatur erreichen, dass sie während des Nachmittages rasch, während der Nacht langsamer sinken und ihren kleinsten Werth ungefähr zwei Stunden vor Sonnenaufgang erreichen, worauf die Kurve sehr steil (zum Mittags-Maximum) in die Höhe steigt. Auch eine jährliche Periode ist nach Rühlmann [108] vorhanden, insoferne die Wintermonate zu kleine, die Sommermonate zu grosse Höhen ergeben. Die Schwankungen der Höhenkurve stehen überhaupt in engster Beziehung zu den regelmässigen Oscillationen des Barometers, zu welchen uns die dynamische Meteorologie wieder zurückführen wird*).

Noch ward die Frage nicht aufgeworfen, ob denn Aneroidbarometer mit denselben Aussichten auf günstigen Erfolg zu Höhenmessungen gebraucht werden können, wie Quecksilberbarometer. Diese Frage ist nur theilweise zu bejahen. v. Bauernfeind diskutirt die

---

*) Werden alle die hier kurz gekennzeichneten Umstände richtig beachtet, so geht eine Höhenbestimmung mit Quecksilberbarometer unter den günstigsten Auspicien vor sich. Noch vor nicht sehr langer Zeit war es anders; damals konnte Pick [109] in einer zur äussersten Vorsicht mahnenden Arbeit mit Recht die Behauptung aufstellen, dass keine vorhandene Messung als eine völlig zuverlässige gelten könne, und dass man von den Gesetzen der Abweichung zwischen barometrisch und trigonometrisch bestimmten Höhen sehr wenig wisse. Pick widerlegt (a. a. O.) auch die Hypothese von Kämtz [110], nach welcher die fragliche Abweichung stets dann verschwinden sollte, wenn die nach der Lambert'schen Formel berechneten Resultirenden der Windrichtungen an den Beobachtungsorten mit der Verbindungslinie dieser Orte zusammenfielen.

in Betracht kommenden Umstände gründlichst und zeigt insbesondere, wann und mit welchen Kautelen die sogenannte Babinet'sche Höhenmessungsformel verwendet werden darf [111]. Besondere Tafeln für die Berechnung von Höhen aus Angaben der Aneroide besitzt man von Schoder [112] und von Frischauf [113]; die letzteren, ungemein handlich wie sie sind, empfehlen sich trefflich als Manuale des wissenschaftlich angelegten Touristen und Bergbesteigers. M. Schmidt that dar [114], dass diese Federbarometer auch bei geodätischen Verrichtungen, Eisenbahntraçirungen u. dgl., ihre Rolle zu spielen berufen sind. Die neuesten und zugleich schärfsten Vergleichungen über den relativen Werth der mit beiden Gattungen von Barometern gemachten Höhenbestimmungen verdankt man wiederum v. Bauernfeind [115]: Die Genauigkeit einer Messung mit Quecksilberbarometer verhält sich zu derjenigen einer Messung mit Aneroidbarometer unter sonst gleichen Umständen wie 17 zu 10.

Zum Schlusse dieses Paragraphen sei noch auf ein Werk [116] von Schreiber aufmerksam gemacht, aus welchem man sich über alle diesen Gegenstand betreffenden Fragen der Theorie und Praxis Raths erholen kann.

§. 5. **Die thermometrische Höhenmessung.** In §. 2 des vorigen Kapitels wurde festgestellt, dass ein Theil des in der Luft enthaltenen Wassers dem flüssigen Wasser an der Erdoberfläche durch den Siedeprocess entzogen wird. Jede Flüssigkeit hat bei einem für sie annähernd konstanten Temperaturgrad ihren Siedepunkt, allein schon ziemlich frühzeitig kam man darauf, dass dieser Punkt nicht blos von der zugeführten Wärme, sondern auch von dem auf der Flüssigkeit lastenden Drucke abhängig ist. Je grösser dieser Druck ist, bei um so höherer Temperatur beginnt erst das den Beginn des Aktes bezeichnende Aufwallen der Masse; macht man den Druck künstlich genügend gross, wie es bei'm Papin'schen (Rumford'schen) Topfe geschieht, so bringt auch eine starke Erhitzung das eingeschlossene Wasser nicht zum Kochen und Sieden. Nach Gintl, der ein selbstständiges Lehrbuch für das thermometrische Höhenmessen geschrieben hat [117], bemerkten zuerst Fahrenheit und Cavallo, dass aus der Verzögerung des Siedeprocesses auf die Abnahme des Luftdruckes und aus dieser wieder auf die erreichte Höhe geschlossen werden könne [118]; die thermometrische Höhenmessung erscheint uns so als ein Korollar der barometrischen. Die für die altimetrische Praxis erforderliche Genauigkeit der Siedepunktsbestimmung ward jedoch erst durch Ure [119] erreicht, dessen Experimente Wollaston [120] zur Konstruktion wirklich verwendbarer Kochthermometer ausnützte; an diesen konnte noch 0,0025 eines (Fahrenheit'schen) Grades abgelesen werden. Auch gab Wollaston die erste Tabelle, um sofort zu einem gegebenen Hitzegrade die zugehörige Barometerhöhe zu erhalten. Von einem wenig in Europa bekannten Naturforscher, De Cáldas (vgl. I. Band, S. 21), sollen ferner, wie H. A. Schumacher angiebt [121], in den Jahren 1802 und 1803 zwei vorzügliche Abhandlungen über unsere Methode verfasst worden sein; derselbe entwickelte darin neue Berechnungsformeln und wies A. v. Humboldt's allzu absprechendes Urtheil zurück. Die ersten Tafeln, welche in drei

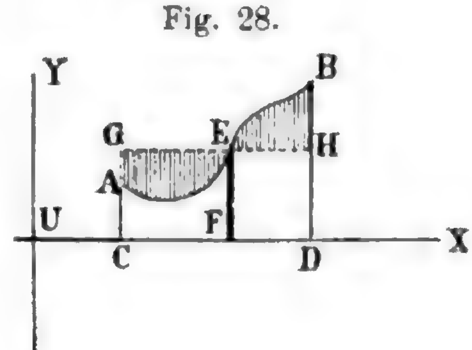
Rubriken die Temperaturen des eben siedenden Wassers, die Barometerstände und die wirklichen Seehöhen neben einander stellen, scheinen von Körner gegeben worden zu sein [122].

Es ist nicht zu leugnen, dass das thermometrische Verfahren nie sehr genaue, weil meistentheils zu grosse Werthe liefert. Gleichwohl hält man sich heutzutage von einer pessimistischen Auffassung eben so ferne, als man andererseits auch Gintl's übertriebene Begeisterung nicht theilt. Forschungsreisende, welche in schwer zugänglichen Gebirgen auf die Mitnahme eines Quecksilberbarometers verzichten müssen, pflegen sich mit Kochthermometern zu versehen, und der ihre Resultate reducirende Rechner vermag daraus immerhin brauchbare Näherungswerthe herzuleiten. Am günstigsten gestalten sich die Messungen mit dem Regnault'schen Apparate, allein eben von Entdeckungsreisenden ist nur allzuhäufig der als Heizstoff dienende Alkohol nicht aufzutreiben. Ueber die zu beobachtenden Vorsichtsmassregeln spricht sich D'Abbadie in seinem äthiopischen Reisewerke aus [123]. Neue und höchst kompendiöse Tafeln hat Zöppritz auf die einschlägigen Arbeiten von Regnault und Broch begründet; dieselben laufen theils in Zehntelgrad-, theils in Hundertelgrad-Intervallen fort [124]. Endlich ist auch von Kunze, der über eine reiche altimetrische Erfahrung verfügt, eine neue Reduktionsformel gegeben worden; ist T der aus dem Barometerstande berechnete, t der am Kochthermometer unmittelbar abgelesene Siedepunkt, so soll die Gleichung gelten [125]:

$$T - t = 0{,}2442 - 0{,}015099\,(100 - T).$$

§. 6. **Die graphischen Methoden der Meteorologie.** Eine der hauptsächlichsten Pflichten des Meteorologen ist es, zumal wenn er klimatologische Studien betreibt, aus einer grösseren Anzahl von Zahlendaten die Mittelwerthe herzuleiten. Rechnerisch geschieht diess, wenn die Anzahl der vorliegenden Beobachtungen eine beschränkte ist, mit Hülfe des arithmetischen Mittels; wenn aber etwa eine vom Selbstregistrator aufgezeichnete krumme Linie gegeben ist, so reicht man mit jenem Hülfsmittel nicht mehr aus. Es sei z. B. (Fig. 28) AB die vom Schreibstifte des Thermographen verzeichnete Kurve, und es sei aus ihr, wenn A und B durch die einen Tag repräsentirende Abscissendifferenz CD *) geschieden sind, die Mitteltemperatur des fraglichen Tages, d. h. die Ordinate EF, zu finden. Zieht man durch E eine Parallele zur Abscissenaxe, welche die Endordinaten (resp. deren Verlängerungen) in G und H schneidet, so muss

Fig. 28.



Geradliniges Trapez CGHD = Gemischtlinigem Trapez ABDC sein, und wäre also AB eine geometrisch reguläre Kurve mit der

*) Wie immer, werden die Zeiten als Abscissen, die den Zeiten entsprechenden variablen Werthe der meteorologischen Elemente als Ordinaten aufgetragen.

Orthogonal-Gleichung $y = f(x)$, so hätte man, mit U den Ursprung des Koordinatensystemes bezeichnend*),

$$EF = \frac{\int_{UC}^{UD} f(x)\, dx}{CD}.$$

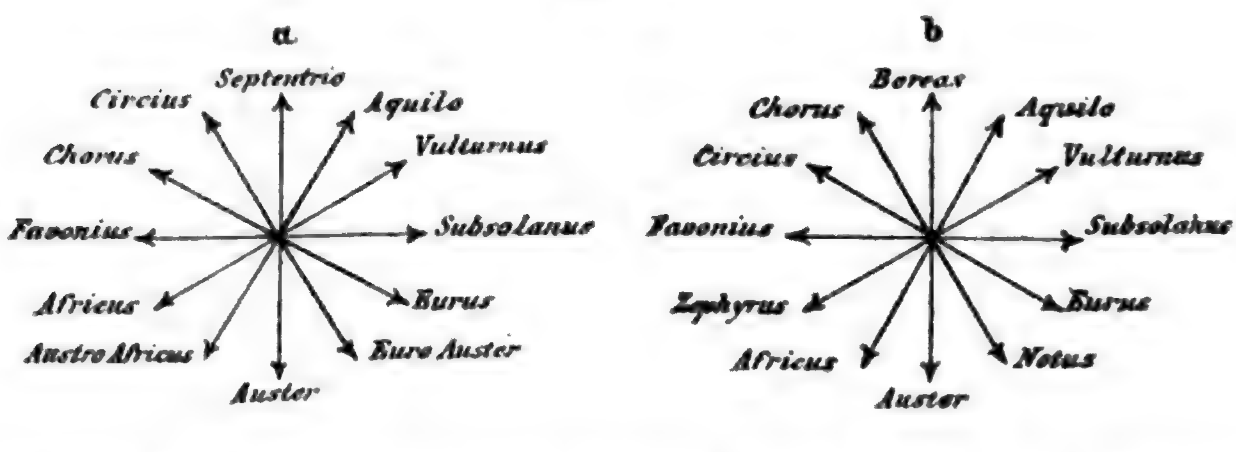
Da die Kurve der fraglichen Eigenschaft jedoch gewöhnlich entbehrt, so wird die Integration im Zähler auf graphischem Wege, mittelst der uns aus dem I. Bande, S. 293, bekannten Planimeter bestimmt, so dass deren Handhabung jedem ausübenden Meteorologen geläufig sein muss.

Ein zweites, viel angewandtes, zeichnendes Erleichterungsmittel bei klimatologischen Arbeiten ist die Darstellung der Witterungselemente durch sogenannte Windrosen. Jedermann kennt die gewöhnliche Bedeutung dieses Wortes**), und sie bildete auch die Grundlage für die im Folgenden zu schildernde übertragene Bedeutung desselben. Im Jahre 1821 schon zeigte L. v. Buch [129], welchen Nutzen für die klare Auffassung der Luftdruckschwankungen man aus einer barometrischen Windrose ziehen könne. Gegenwärtig zieht man das Kunstwort barische Windrose vor; eine solche kann sowohl tabellarisch, als auch graphisch hergestellt werden, allein diese zweite Manier erfreut sich des grossen Vorzuges, unmittelbar zu den Augen zu sprechen.***) Zunächst also ordnet man diejenigen Baro-

*) Es ist nicht unumgänglich nöthig, dass die Auswerthung des im Zähler stehenden Ausdruckes völlig nach den Regeln der höheren Mathematik erfolge, es hat vielmehr Schlömilch, dem wir eine sehr schöne und einfache Theorie der analytischen Mittelwerthe verdanken [126], gezeigt, wie man in sehr vielen Fällen mit elementaren Rechnungsweisen vollkommen ausreicht.

**) Der Begriff der Windrose geht bis in das graueste Alterthum hinauf, wie man aus der von D'Avezac herrührenden Monographie [127], einem wahren

Fig. 29.



Paradigma besonnenster geschichtlich-kritischer Arbeit, ersehen kann. Besonders geachtet war im früheren Mittelalter neben der „gewöhnlichen Rose" die „Rose des Isidorus Hispalensis"; Fig. 29 a und b stellt beide nach D'Avezac [128] dar.

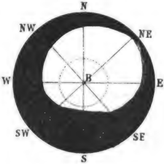
***) Es ist zu bedauern, dass selbst in Werken, welche sonst dem wichtigen Werkzeuge der Meteorologie, den Windrosen, ihr volles Recht zu Theil werden lassen, wie in demjenigen von Peschel-Leipoldt [130], die zeichnende Versinnlichung der tabellarischen Resultate in den Hintergrund tritt. Sehr verdienst-

meterstände in eine Tafel, welche den einzelnen Windrichtungen für einen gewissen Ort und für eine gewisse Zeit entsprechen, wie denn z. B. das unten folgende Schema nach v. Buch's Zusammenstellung [132] die barische Jahreswindrose für Berlin enthält:

Winde	Luftdruck in Millim.	Winde	Luftdruck in Millim.
Nord . . .	758,68	Süd . . .	751,33
Nordost . .	759,35	Südwest . .	752,56
Ost	758,77	West . . .	756,00
Südost . . .	754,68	Nordwest .	757,61

Man bemerkt bei'm Vergleichen dieser Zahlen, dass der Nordostwind in Berlin die schwerste, der Südwind die mindest schwere Luft mit sich bringt. Ohne jeden Vergleich aber ersieht man diess aus der graphischen Windrose von Fig. 30, worin B die Stadt Berlin bedeutet. Hier wurden auf jeder der acht Geraden, welche den Hauptwindrichtungen entsprechen, vom gemeinsamen Durchschnittspunkte B aus Strecken abgetragen, welche sich zu einander verhalten, wie die in der Tabelle enthaltenen Zahlen (thatsächlich kann die Proportionalität angesichts der geringen Differenzen und des knappen zu Gebote stehenden Zeichnungsraumes natürlich keine völlig strenge sein). Es ist einleuchtend, dass man, nach Dove's Vorgang [133], auch thermische Windrosen konstruiren kann; ebenda wies der grosse Forscher auch auf die Bedeutung der atmischen Windrosen hin, welche kundgeben, wie sich die Feuchtigkeit der Luft mit der Windrichtung ändert. Letzteres hat besonders Suhle [134] näher ausgeführt. Die ombrische Windrose ist von Lamont [135], die nephische — d. h. die den Zusammenhang des Bewölkungsgrades mit der Windrichtung illustrirende — Windrose von Lommel [136], die ozonoskopische von Prestel (s. o.) in Betracht genommen worden.

Fig. 30.



Die Windrosen haben übrigens nicht etwa blos einen Werth als Unterrichtsmittel oder als Erleichterung der Uebersicht, sie können vielmehr für die klimatologische Forschung die wesentlichsten Dienste leisten. Das geht klar hervor aus Schreiber's gelungenem Versuche [137], lediglich aus langjährigen Leipziger Windrosen der verschiedenen Elemente eine vollständige Klimabeschreibung der nordsächsischen Ebene zu entwickeln. Und Lösche's Konstruktion einer

---

lich ist dagegen die Betonung gerade dieser Seite in dem kleinen Lehrbuche von Lommel [131].

anemometrischen Windrose [138] verspricht auch der dynamischen Meteorologie Vorschub zu leisten.

§. 7. **Die Methode der kleinsten Quadrate.** Bei einer Menge derjenigen Kalkulationsarbeiten, welche dem praktischen Meteorologen obliegen, bedarf derselbe der Anwendung jener Vorschriften der höheren Wahrscheinlichkeitsrechnung, welche man kurzweg als die Methode der kleinsten Quadrate zu bezeichnen pflegt. An dieser Stelle soll nicht etwa eine weitläufige Erörterung über dieses mächtige Instrument der Ausgleichungsrechnung ihren Platz finden, es sollen vielmehr nur dem geographischen Leser dieses Buches einige Andeutungen über den an sich einfachen Grundgedanken dieses Rechnungsverfahrens gegeben werden, mit welchem der Nicht-Mathematiker häufig sehr unzutreffende Vorstellungen verbindet.

Bekanntlich vermag die Algebra nur solche Systeme von Gleichungen aufzulösen, bei welchen die Anzahl der letzteren mit jener der Unbekannten völlig übereinstimmt, d. h. bestimmte Systeme. Ist die Anzahl der unbekannten Grössen die grössere, so hat man es mit den der diophantischen Analysis zugehörigen unbestimmten Systemen zu thun. Gerade die angewandte Mathematik aber ist es, welche in gar vielen Fällen dazu veranlasst, überbestimmte Systeme zu betrachten, bei welchen die Anzahl der Gleichungen jene der Unbekannten — oft bei weitem — übersteigt. Hier kann es sich nur darum handeln, die relativ besten oder wahrscheinlichsten Werthe der Unbekannten zu ermitteln.

In einer nicht eben wissenschaftlich begründeten, doch aber ganz rationellen Weise leistete Tob. Mayer (der Vater) dieser Forderung Genüge, als er seine bekannten Forschungen über die Axendrehung des Mondes (vgl. I. Band, S. 115) zum Abschlusse brachte [139]. Die Folgezeit begründete scharf, was er mehr nur geahnt hatte. Gesetzt, man habe ein System von n Gleichungen mit 2 Unbekannten ($n > 2$)*), und zwar das folgende:

$$\begin{aligned} a_1 x + b_1 y &= c_1, \\ a_2 x + b_2 y &= c_2, \\ &\vdots \\ a_n x + b_n y &= c_n. \end{aligned}$$

Irgendwie seien hieraus die wahrscheinlichsten Werthe von x und y berechnet; werden dieselben dann nach und nach in jedes einzelne Glied des Systemes eingesetzt, so wird keine dieser Gleichungen

---

*) Wenn wir uns auf zwei Unbekannte beschränkt haben, so geschah diess nur aus Gründen der Einfachheit, denn es liegt am Tage, dass bei einer grosseren Zahl das Verfahren nur eine Erweiterung, nicht aber eine Veränderung erfährt Auch darin liegt kaum eine wirkliche Beschränkung, dass wir die überbestimmten Gleichungen algebraisch-linear (d. h. nicht von höheren Graden, oder auch transscendent) annahmen, denn wären sie dieses gewesen, so hätte man dieselben durch Reihenentwickelung nach dem Taylor'schen Satze u. dgl. vorher so umformen können, dass sie die für die weitere Rechnung nothwendige Gestalt annahmen.

völlig genau befriedigt, vielmehr ergiebt sich für jede einzelne ein sogenannter Fehler, dem offenbar resp. die Werthe

$$F_1 = a_1 x + b_1 y - c_1, \quad F_2 = a_2 x + b_2 y - c_2, \ldots$$
$$\ldots F_n = a_n x + b_n y - c_n$$

zukommen. Würde man dem ersten sich darbietenden Gedanken nachgeben, so würde man die Summe dieser sämmtlichen Fehler gleich einem Minimum setzen. Eine einfache Ueberlegung ergiebt aber, dass diese Fehler ebensowohl positiv, wie negativ sein können, und dass sie daher, wenn man ihnen dasselbe Vorzeichen verleihen will, vorher sämmtlich auf die zweite Potenz erhoben werden müssen, d. h. es soll

$$F_1^2 + F_2^2 + \ldots + F_n^2 = \text{Minimo}$$

sein. Wenn aber eine Funktion f(x, y) von zwei Veränderlichen ein Minimum sein soll, so gelten der Differentialrechnung zufolge die Relationen $\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial y} = 0$, unter der weiteren und hier zulässigen Voraussetzung allerdings, dass auch die zweiten Differentialquotienten einer bestimmten Bedingung genügen. Wir führen die Quadraterhebungen wirklich durch, setzen aber kürzer

$$\begin{aligned}
[aa] &= a_1^2 + a_2^2 + \ldots a_n^2, \\
[ab] &= a_1 b_1 + a_2 b_2 + \ldots + a_n b_n, \\
[ac] &= a_1 c_1 + a_2 c_2 + \ldots + a_n b_n, \\
[bb] &= b_1^2 + b_2^2 + \ldots + b_n^2, \\
[bc] &= b_1 c_1 + b_2 c_2 + \ldots + b_n c_n, \\
[cc] &= c_1^2 + c_2^2 + \ldots + c_n^2.
\end{aligned}$$

Dann ist

$$\sum_1^n F_i^2 = [aa]x^2 + 2[ab]xy + [bb]y^2 - 2[ac]x - 2[bc]y + [cc] = \text{Minimo},$$
$$2[aa]x + 2[ab]y - 2[ac] = 0; \quad 2[bb]y + 2[ab]x - 2[bc] = 0,$$

und hieraus fliessen als die wahrscheinlichsten Werthe für x und y die folgenden:

$$x = \frac{[ac] . [bb] - [ab] . [bc]}{[aa] . [bb] - [ab]^2}, \quad y = \frac{[aa] . [bc] - [ab] . [ac]}{[aa] . [bb] - [ab]^2}.$$

Unsere Aufgabe ist somit endgültig gelöst.

Nunmehr liegt es aber für Jedermann am Tage, weshalb das von uns befolgte Verfahren mit allem Rechte die Methode der kleinsten (Fehler-) Quadrate genannt werden darf. Seit 1795 kannte Gauss, damals ein achtzehnjähriger Jüngling, dieses Hülfsmittel, Beobachtungen auszugleichen, allein wenn er nicht in seinem ersten astronomischen Werke diese seine Priorität wahrgenommen hätte [140]*), so würde lange Jahre Niemand etwas hiervon gewusst haben, denn erst 1821 trat er mit seiner grundlegenden Abhandlung über den Gegenstand hervor [142], während Legendre und Laplace, nach R. Wolf's Angabe [143], weit früher schon ähnliche, wenn auch minder voll-

*) „Merian erzählt, Daniel Huber habe schon in früheren Zeiten durch eigenes Nachdenken, die späterhin durch Gauss und Legendre bekannt gewordene Methode der kleinsten Quadrate, zur Ausmittelung des wahrscheinlichsten Ergebnisses, aus einer Reihe von Beobachtungen, aufgefunden'. — aber leider versäumte er es jedenfalls, durch rechtzeitige Ausarbeitung eine so schöne Entdeckung mit seinem Namen zu vereinigen" [141].

kommene Darstellungen veröffentlicht hatten. Für die Zeiten ihrer Herausgabe charakterisiren den Stand unseres Wissens sehr gut und eignen sich deshalb zur Belehrung die Schriften von Gerling [144], G. H. L. Hagen [145], Helmert [146] und Vogler [147], von welchen die letztere auch einem nicht sehr tief in die Mathematik eingedrungenen Leser bestens zu empfehlen ist. Um auch der ausländischen Literatur gerecht zu werden, nennen wir noch Liagre [148], Airy [149] und Forti [150]; in dem letztgenannten Buche finden Geodäten und Geographen hübsche und interessante Aufgaben, wie z. B. über die Absteckung der Axe des Gotthard-Tunnels. Die für den Physiker wichtigsten Anwendungen endlich hat Kohlrausch in seinen wohlbekannten Leitfaden aufgenommen [151].

Bezeichnet man mit [FF] im obigen Sinne die Summe der Fehlerquadrate, so ist der sogenannte mittlere Fehler der Einzelbestimmung und des arithmetischen Mittels aus n Einzelbestimmungen bezüglich gegeben durch die Ausdrücke

$$\pm\sqrt{\frac{[FF]}{n-1}}, \quad \pm\sqrt{\frac{[FF]}{n(n-1)}};$$

der wahrscheinliche Fehler aber ist in beiden Fällen den Ausdrücken

$$\pm\, 0{,}674 \,.\, \sqrt{\frac{[FF]}{n-1}}, \quad \pm\, 0{,}674 \,.\, \sqrt{\frac{[FF]}{n(n-1)}}$$

gleichzusetzen.

§. 8. **Das Rechnen nach der Bessel'schen Formel.** Die ersten Versuche, periodische Erscheinungen von noch unbekannter Gesetzmässigkeit durch mathematische Formeln annähernd getreu in ihrem Verlaufe darzustellen, rühren von Lambert her [152]. Bessel aber war es, der [153] den betreffenden Rechnungsmechanismus so ausbildete, wie ihn noch jetzt in der Hauptsache jede auf die Verfolgung von Periodicitäten angewiesene naturwissenschaftliche Disciplin gebraucht, und man spricht deshalb gewöhnlich von der Bessel'schen Formel. Es sei K der Umfang der Periode, nach deren Ablauf die veränderliche Grösse y — eine Funktion der unabhängig veränderlichen Grösse x — stets in derselben Art wiederkehrt; $u_0, u_1, u_2 \ldots U_1, U_2 \ldots$ mögen konstante, durch Beobachtung zu bestimmende Grössen sein. Dann kann man

$$y = u_0 + u_1 \sin\left(U_1 + \frac{2\pi x}{K}\right) + u_2 \sin\left(U_2 + \frac{4\pi x}{K}\right) + \ldots + u_m \sin\left(U_m + \frac{2(m-1)\pi x}{K}\right)$$

setzen. Die Meteorologie bietet eine Fülle von Gelegenheiten zur Anwendung dieser Formel, und Bessel selbst war auf sie zuerst geführt worden, als er die von Humboldt und Horner gemachten Aufzeichnungen über Barometerschwankungen diskutiren wollte. In Wirklichkeit werden, obwohl die obige Reihe eigentlich eine unendlich fortlaufende ist, doch nur so viele Grössen u und U bestimmt, dass den vorhandenen Werthen von y genügt wird. Sind $\alpha_0, \alpha_1 \ldots \alpha_{n-1}$ die gegebenen Werthe von y, und versteht man unter $z_0, z_1 \ldots z_{n-1}$

die entsprechenden Werthe von $\frac{x}{K} \cdot 2\pi$, so können, unter Anwendung des bekannten Satzes

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b,$$

aus unserer Gleichung die nachstehenden Theilgleichungen hergeleitet werden:

$$\alpha_i = p_0 + p_1 \cos z_i + q_1 \sin z_i + p_2 \cos 2 z_i + q_2 \sin 2 z_i + \ldots \qquad (i = 0, 1, 2 \ldots n - 1).$$

Nimmt man jetzt an, dass die $z_0, z_1, z_2 \ldots$ sich in arithmetischer Reihe folgen, dass ihre Anzahl n ist, und dass die Differenz einen aliquoten Theil von 2π beträgt, so hat man diese n Gleichungen:

$$\alpha_i = p_0 + p_1 \cos iz + q_1 \sin iz + p_2 \cos 2iz + q_2 \sin 2iz + \ldots \qquad (i = 0, 1, 2 \ldots n - 1).$$

Dieses Gleichungssystem soll den Bedingungen des vorigen Paragraphen unterliegen, es soll also auch die Relation

$$\Sigma(-\alpha_i + p_0 + p_1 \cos iz + p_2 \sin iz + \ldots)^2 = \text{Minimo}$$

zu Rechte bestehen. Verfährt man also, wie oben, berücksichtigt aber auch gleichzeitig die leicht zu beweisenden Identitäten

$$\sin 1 \cdot a + \sin 2 \cdot a + \ldots + \sin(n-1) \cdot a = \cos 0 \cdot a + \cos 1 \cdot a + \cos 2 \cdot a + \ldots + \cos(n-1) \cdot a = 0,$$

so erhält man als wahrscheinlichste Werthe:

$$p_0 = \frac{1}{n}(\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_{n-1}),$$

$$p_i = \frac{2}{n}(\alpha_0 + \alpha_1 \cos iz + \alpha_2 \cos 2iz + \ldots + \alpha_{n-1} \cos(n-1)iz),$$

$$(i = 1, 2, 3 \ldots n - 1),$$

$$q_i = \frac{2}{n}(\alpha_0 + \alpha_1 \sin iz + \alpha_2 \sin iz + \ldots + \alpha_{n-1} \sin(n-1)iz),$$

$$(i = 1, 2, 3 \ldots n - 1).$$

Um z. B. die Temperatur (in Réaumur'scher Skale) y als eine Funktion der mittleren Sonnenlänge darzustellen, wählte Bessel eine 24jährige Königsberger Reihe von Werthen der Mitteltemperaturen für jeden fünften Tag des Jahres aus, so dass $z = \frac{360^\circ}{73} = 4^\circ 55' 53''$ wurde, und fand nach seiner Formel [154]

$$y = 5^\circ{,}0454 + 8^\circ{,}5487 \sin(x - 29^\circ 14') + 0^\circ{,}1068 \sin(2x - 157^\circ 55') + 0^\circ{,}1173 \sin(3x - 332^\circ 6') + 0^\circ{,}5542 \sin(4x - 104^\circ 58').$$

Derjenige Klimatologe, in dessen Schriften man die Anwendung der Bessel'schen Formel am gründlichsten studiren kann, ist gewiss Ragona in Modena; wir möchten namentlich auf seine Untersuchung über das Jahresverhalten der Feuchtigkeit [155] hinweisen. Zum Beweise endlich, dass der richtig gehandhabte Kalkul in der That niemals sehr weit von der wirklichen Beobachtung abweicht, reproduciren wir eine von Hällström [156] ausgearbeitete Tabelle für die Tagestemperatur der einzelnen Stunden in der ostindischen Stadt

Madras; Hällström hatte die eine Rubrik der Tabelle auf Grund der Formel

$$y = 25^{\circ},54 + 2^{\circ},967 \sin(15^{\circ}.x + 48^{\circ}33') + 0^{\circ},946.(30^{\circ}.x + 69^{\circ}10') + 0^{\circ},069.\sin(45^{\circ}.x + 350^{\circ}20')$$

hergestellt und so die folgende Zusammenstellung erhalten:

Stunde	Beobacht. Temp.	Berechn. Temp.	Differenz	Stunde	Beobacht. Temp.	Berechn. Temp.	Differenz
0	28°,89	28°,64	+ 0°,25	12	24°,44	24°,21	+ 0,23
1	28 ,98	29 ,17	— 0 ,19	13	23 ,72	23 ,78	— 0,06
2	28 ,96	29 ,25	— 0 ,29	14	23 ,50	23 ,30	+ 0,20
3	28 ,68	28 ,89	— 0 ,21	15	22 ,43	22 ,86	— 0,43
4	28 ,44	28 ,21	+ 0 ,23	16	22 ,16	22 ,56	+ 0,05
5	27 ,61	27 ,38	+ 0 ,23	17	22 ,04	22 ,51	— 0,47
6	26 ,66	26 ,55	— 0 ,11	18	23 ,68	22 ,76	+ 0,92
7	25 ,61	25 ,87	— 0 ,26	19	23 ,74	23 ,34	+ 0,40
8	25 ,37	25 ,38	— 0 ,01	20	23 ,33	24 ,23	— 0,90
9	25 ,06	25 ,06	— 0 ,00	21	25 ,00	25 ,35	— 0,35
10	24 ,74	24 ,81	— 0 ,07	22	26 ,85	26 ,57	+ 0,28
11	24 ,56	24 ,55	+ 0 ,01	23	28 ,06	27 ,72	+ 0,34

Die höchste und nur in Einem Falle erreichte Differenz beläuft sich also auf wenig über $^{9}/_{10}$ Grade.

Freilich kennt man häufig nicht, wie Bessel voraussetzte, die zusammengehörigen Werthe äquidistanter Phasen und Amplituden, sondern blos die Mittelwerthe dieser letzteren für abgegrenzte Theile der Gesammtperiode. E. Plantamour [157] und Weihrauch [158] haben die Bessel'sche Formel auch diesem Falle anzupassen gesucht; das Verfahren des Letztgenannten ist jedenfalls das strengere. Ein Theil der Periode K $(= 2\pi)$ werde begrenzt von den Phasen z_{k-1} und z_k, der Mittelwerth, über dessen Bedeutung §. 6 aufgeklärt hat, sei μ_k $(k > 0,\ z_0 = 0,\ z_n = 2\pi)$; dann ist, wenn man diesen mittleren als den wahren Werth auffasst,

$$\int_{z_{k-1}}^{z_k} y\,dx = \mu_k (z_k - z_{k-1}) = u_0 (z_k - z_{k-1}) - \Sigma \frac{u_i}{i} \Big[\cos(U_i + i z_k) - \cos(U_i + i z_{k-1})\Big],$$

wobei die y, x, u und U im Sinne Bessel's weiter gelten. Da

$$\cos a - \cos b = 2 \sin \frac{b + a}{2} \sin \frac{b - a}{2}$$

ist, so wird

$$\mu_k = u_0 + \frac{1}{i(z_k - z_{k-1})} . \Sigma \left[2 u_i \sin\left(U_i + \frac{i(z_k - z_{k-1})}{2}\right) \sin \frac{i(z_k - z_{k-1})}{2} \right].$$

Setzt man jetzt $p_i = u_i \sin U_i$, $q_i = u_i \cos U_i$ und noch

$$\frac{2 \cos \frac{i(z_k - z_{k-1})}{2} \sin \frac{i(z_k - z_{k-1})}{2}}{i(z_k - z_{k-1})} = c_{k,i},$$

$$\frac{2 \sin \frac{i(z_k + z_{k-1})}{2} \cdot \sin \frac{i(z_k - z_{k-1})}{2}}{i(z_k - z_{k-1})} = s_{k,i},$$

so hat man folgendes Gleichungssystem mit den Unbekannten u_0, p_1, $p_2 \ldots q_1$, $q_2 \ldots$:

$$\mu_k = u_0 + \sum_1^i p_i \cdot c_{k,i} + \sum_1^i q_i s_{k,i} \quad (k = 1, 2 \ldots i).$$

Hierauf ist dann die Methode der kleinsten Quadrate anzuwenden.

[1] Macaulay, Die Geschichte Englands seit dem Regierungsantritt Jakob's II., deutsch von Bülau-Stromberg, 11. Band, Leipzig 1861. S. 84. — [2] Gehler's physikalisches Worterbuch, 2. Auflage, 10. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1842. S. 215 ff. — [3] Crelle, Theorie des Windstosses mit Anwendung auf Windflügel, Berlin 1802. — [4] Zernikow, Theorie des Windstosses nebst Anwendung auf Windflügel und Schiffssegel, Erfurt 1854. — [5] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1883. S. 144. — [6] Beaufoy, On a new wind guage, Annals of philosophy, (2) vol. II. S. 431 ff. — [7] Bouguer, Manoeuvre des vaisseaux, Paris 1757. S. 151. — [8] C. v. Wolf, Elementa matheseos universae, tom. II., Halae a. S. 1743. S. 405. — [9] Mohn, Grundzüge etc., S. 141 ff. — [10] Sprung, Studien über den Wind und seine Beziehungen zum Luftdruck, 2. Theil, Hamburg 1879. S. 19 ff. — [11] Recknagel, Ueber ein zu Geschwindigkeitsmessungen an Luftstromen geeignetes Instrument, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 4. Band. S. 149 ff. — [12] Maurer, Die Anemometer der Station auf dem Säntisgipfel, Gaea, 20. Jahrgang. S. 8 ff. — [13] Hagemann, Tractatus physicus de motu mercurii in barometris, Regiomonti 1724. — [14] Köppen, Notiz über die Zurückführung der Anemometerangaben der Stationen der Seewarte auf absolutes Maass und über das Verhältniss der Beaufort'schen Skale zur Windgeschwindigkeit, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 14. Band. S. 302 ff. — [15] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 1. Band. Leipzig 1825. S. 432 ff. — [16] Bellani, Descrizione di un nuovo atmidometro. Giornale di fisica, (2) Vol. III. S. 166 ff. — [17] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 47. — [18] Neumayer, Bericht über die Verhandlungen des zweiten internationalen Meteorologen-Kongresses in Rom. Hamburg 1880. S. 29. — [19] O. v. Guericke, Experimenta nova, quae vocantur Magdeburgica, Amstelodami 1672. S. 114. — [20] Stevenson, Proposed optical barometer, Nature, Vol. XIII. S. 150. — [21] Boys, The ear a barometer, (Symmons') Monthly Meteor. Mag., 1884. S. 333 ff. — [22] Schott, Mechanica hydraulico-pneumatica, Herbipoli 1657. S. 308. — [23] Kästner. Anfangsgründe der angewandten Mathematik, Göttingen 1780. S. 161. — [24] Die moderne Meteorologie, Braunschweig 1882. S. 17 ff. — [25] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 1. Band, 2. Abtheil., Leipzig 1825. S. 766 ff. — [26] Ibid. S. 772 ff. — [27] Ibid. S. 774 ff. — [28] Kunzek, Lehrbuch der Physik mit mathematischer Begründung, Wien 1860. S. 36. — [29] Wild, Neues Heberbarometer, Repert. f. Experimentalphysik, 11. Band. S. 389 ff. — [30] Mohn, Grundzüge etc., S. 117 ff. — [31] Förster, Metronomische Beiträge, Nr. 3, Berlin 1881. — [32] Grunmach, Absolute barometrische Bestimmungen unter Kontrole des Vakuums durch elektrische Lichterscheinungen, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 21. Band. S. 698 ff. — [33] Holtschl, Die Aneroide von Naudet und von Goldschmid, Wien 1872. — [34] Kohlrausch, Ein Variationsbarometer, Ann. d. Phys. u. Chem., 150. Band. S. 423 ff. — [35] Ibid. S. 426. — [36] Schwirkus, Neue Gesichtspunkte für die Konstruktion der Aneroidbarometer und Manometer, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 3. Jahrgang. S. 89 ff. — [37] E. Gerland, Bericht über den historischen Theil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876, Braunschweig 1878. S. 75 ff. — [38] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 5. Band, 1. Abtheil., Leipzig 1829. S. 594 ff. — [39] Deluc, Sur l'hygromètre de baleine, Journal de phys., Vol. V. S. 381 ff. S. 457 ff. — [40] Saussure, Essai sur l'hygrométrie, Neufchâtel 1783; Défense de l'hygromètre à cheveux, Genève 1788. — [41] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 4. Band, Zürich 1862. S. 263. — [42] C. v. Wolf, Experimenta physica oder allerhand nützliche Versuche. 2. Theil, Halle 1722. S. 7. — [43] Gehler's

phys. Wörterb., 2. Aufl., 5. Band. 1. Abtheil., S. 606 ff. — [44] Klinkerfues, The des Bifilarhygrometers mit gleichtheiliger Procentskale, Göttingen 1875 — [45] G ler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 5. Band, 1. Abtheil., S 609 ff. [46] Laml Essai d'hygrometrie ou sur la mesure de l'humidité. Sagan 1766; deutsch Thenn. Augsburg 1775. — [47] Regnault, Etudes sur l'hygrométrie. Ann. de cl et de phys., (3) Vol. XV. S. 129 ff. — [48] Daniell. On a new hygrometer. Q terly Journal of science. 1820. S. 128 ff. — [49] August, Ueber die Anwend des Psychrometers zur Hygrometrie. Berlin 1828; Ueber die Fortschritte der Hyg metrie. ibid 1830. — [50] Mohn, Grundzüge etc., S. 187 ff. — [51] Dines, Einf der Höhe des Regenmessers auf Regenmessungen. Zeitschr. d. österr. Gesell f. Meteor., 12. Band. S. 382 ff. — [52] Osann, Beschreibung eines Ozonomet Würzburg 1852. — [53] Hann, Handbuch etc., S. 50. — [54] Wohlwill, Zur schichte der Erfindung und Verbreitung des Thermometers, Ann. d. Phys. u. Chem 124. Band. S. 163 ff. — [55] Khanikoff, Analysis and extraits of „book of t balance of wisdom", Journal of the Amer. oriental society, Vol. VI, S. 1 ff. — [56] Wohlwill, Zur Gesch. etc., S. 177. — [57] Nelli, Vita e commercio letterar di Galileo Galilei. Lozanna 1793. S. 69. — [58] Libri, Histoire des sciences math matique en Italie. tome IV., Paris 1841. S. 189. — [59] Libri, Galileo Galile sein Leben und seine Werke. deutsch von Carové. Siegen und Wiesbaden 18 S. 21. — [60] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 9. Band. 2. Abtheil., Leipzig 18 S. 859 ff. — [61] R. Wolf. Biogr. etc., 1. Band. Zürich 1858. S. 240 ff. — [62] Gru mach. Mittheilungen über Vergleichungen von Quecksilberthermometern mit La thermometern. Metr. Beitr., N. 3. Berlin 1881. — [63] Mohn, Grundzüge et S. 10 ff. — [64] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 18 S. 452 ff. — [65] Die mod. Meteor., S. 71. — [66] Assmann, Das Schleuderpsychr meter, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 19. Band. S. 154 ff. — [67] Fit gerald, A description of a metallic thermometer, Philos. Transact., 1760. S. 823 — [68] Rutherford, A description of an improved thermometer, Transact. of t Edinb. society. Vol. III. S. 247 ff. — [69] Breitenlohner. Heinr. Kappeller's patentirt neues Maximum- und Minimumthermometer. Oesterr. landwirthsch. Wochenbla 1882. S. 39. — [70] Kreil, Beschreibung meteorologischer Autographen-Instrumen Wien 1849. — [71] Lamont, Beschreibung der auf der Münchener Sternwarte ve wendeten Instrumente und Apparate, München 1851. — [72] J. Müller, Leh buch etc., S. 458 ff. — [73] Ibid. S. 462 ff. — [74] Secchi, Memorie dell' oss vatorio del collegio Romano, Roma 1862. — [75] v. Langsdorf, Näherungswei der Abweichung des Watt'schen Parallelogrammes, Archiv d. Math. u. Phy 8. Theil. S. 337 ff. — [76] Schreiber, Theorie eines neuen registrirenden La thermometers. Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 10. Band. S. 210 ff. [77] Theorell's Typendruck-Meteorograph, ibid. 10. Band. S. 245. — [78] van Rys berghe, Ueber einen auf einem neuen Systeme beruhenden Universalmeteorograph ibid. 10. Band. S. 49 ff. — [79] Sprung, Wage-Thermograph, Tagebl. d. 57. Naturf.-Ve Mageburg 1884. — [80] Sprung, Wage-Barograph mit Laufgewicht. ibid. 16. Band. S. — [81] Erk-v. Bezold, Die Bestimmung wahrer Tagesmittel der Temperatur besonderer Berücksichtigung langjähriger Tagesmittel von München, München 18 — [82] Ibid. S. 48. — [83] Neumayer, Die geographischen Probleme innerh der Polarzonen in ihrem inneren Zusammenhange beleuchtet. Hydrogr. Mitthe 1874. S. 51 ff. — [84] Börgen, Die internationalen Polarexpeditionen. (Brem Deutsche geogr. Blätter. 5. Band. S. 298 ff. — [85] Pascal, Récit de la gra expérience de l'équilibre des liqueurs. Paris 1648; Traité de l'équilibre des lique et de la pesanteur de la masse de l'air, ibid. 1662. — [86] Pascal, Traité e S. 172 ff. — [87] Sinclair, Ars nova et magna gravitatis et levitatis, Roterad 1669. S. 128 ff. — [88] Scheuchzer, Οὐρεσιφοίτης helveticus. II., Londini 1 S. 7. — [89] Mariotte, Oeuvres complètes, Vol. I. Leyde 1717. S. 174 ff. [90] v. Lindenau, Tables barométriques pour faciliter le calcul des nivellem et des mesures des hauteurs par le baromètre. Gotha 1809. S. XX. — [91] Pogg dorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wis schaften, 2. Band, Leipzig 1863. S. 1123. — [92] Halley, Discours of the rule the decrease of the height of mercury in the barometer, Philos. Transact., 1 S. 104 ff. — [93] Laplace, Traité de mécanique céleste. Vol. IV., Paris 1808. S. 2 — [94] Ramond, Mémoires sur la formule barométrique de la mécanique cél Clermont-Ferrand 1811. — [95] Rühlmann, Die barometrischen Höhenmessun und ihre Bedeutung für die Physik der Atmosphäre. Leipzig 1870. S. 24 ff [96] Gehler's phys. Wörterb., 2. Aufl., 5. Band. 1. Abtheil. S. 282 ff. — [97] Käst Anmerkungen über die Markscheidekunst, nebst einer Abhandlung über das Hö

messen mit dem Barometer, Göttingen 1775. — [98] Deluc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère, tome II., Genève 1772. S. 109 ff. — [99] Bessel, Ueber Höhenbestimmungen durch das Barometer. Ann. d. Phys. u. Chem., 36. Band. — [100] Ohm. Grundzüge der Physik. 2. Abtheilung, Nürnberg 1851. S. 182 ff. — [101] v. Bauernfeind, Beobachtungen und Untersuchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen und die räumlichen Temperaturveränderungen der Atmosphäre. München 1862. — [102] Guldberg, Ueber die Formeln für barometrische Höhenmessung. Zeitschr. f. Math. u. Phys., 7. Band. S. 359 ff. — [103] v. Bauernfeind. Elemente der Vermessungskunde. (5. Auflage) 2. Band, Stuttgart 1879. S. 391 ff. — [104] Ibid. S. 395. — [105] v. Bauernfeind. Beobachtungen etc.. S. 69 ff. — [106] Reiss. Sinken die Anden?. Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. 7. Band. S. 48 ff. — [107] Rühlmann. Die barom. etc.. S. 47. — [108] Ibid. S. 63 ff. — [109] Pick. Ueber die Sicherheit barometrischer Höhenmessungen. Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch.. Math.-phys. Kl.. 16. Band. S. 415 ff. — [110] Kamtz. Vorlesungen über Meteorologie, Halle 1840. S. 28. — [111] v. Bauernfeind. Elemente etc.. 2. Band. S. 405 ff. — [112] Schoder. Hülfstafeln zur barometrischen Höhenbestimmung nebst Anleitung zur Untersuchung und zum Gebrauche der Aneroidbarometer, Stuttgart 1874. — [113] Frischauf. Tafeln zur Berechnung barometrischer Höhenmessungen. Wien 1877. — [114] M. Schmidt, Ueber den praktischen Werth Naudet'scher Aneroide. München 1876. — [115] v. Bauernfeind, Neue Beobachtungen über die tägliche Periode barometrisch bestimmter Höhen. München 1883. S. 17. — [116] Schreiber. Handbuch der barometrischen Höhenmessungen. Weimar 1877. — [117] Gintl. Das Höhenmessen mit dem Thermometer. Wien 1835. — [118] Ibid. S. 5. — [119] Ure, New experimental researches on some of the leading doctrines of caloric. Philos. Transact.. 1818. S. 338 ff. — [120] Gehler's phys. Wörterb.. 2. Aufl., 5. Band, 1. Abtheil., S. 333. — [121] H. A. Schumacher, Ueber Francisco de Caldas, den neugranadinischen Naturforscher und Geographen. Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. 7. Band. S. 102. — [122] Korner. Ueber thermometrische Höhenmessung. (Kastner's) Arch. f. Chem. u. Meteor., 4. Band. S. 263 ff. — [123] D'Abbadie-Radau. Géodésie d'Éthiopie ou triangulation d'une partie de la haute Éthiopie, exécutée selon des méthodes nouvelles. Paris 1873. S. 54 ff. — [124] Zöppritz. Tabellen für Luftdruck und Siedetemperatur des Wassers. Königsberg 1883. — [125] Kunze. Einige Beobachtungen an Kochthermometern. Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. 9. Band. S. 509 ff. — [126] Schlömilch, Handbuch der algebraischen Analysis. Jena 1868. S. 53 ff. — [127] D'Avezac. Aperçus historiques sur la rose des vents. Rome 1874. — [128] Ibid. S. 31. — [129] v. Buch. Ueber barometrische Windrosen, Abhandl. der k. pr. Akademie der Wissensch.. Ph. Kl.. 1820. — [130] Peschel-Leipoldt. Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1880. S. 129. S. 230. S. 240. — [131] Lommel. Wind und Wetter; gemeinfassliche Darstellung der Meteorologie. München 1873. S. 133 ff. — [132] v. Buch, Ueber barom. Windr.. S. 99. — [133] Dove. Einige meteorologische Untersuchungen über Winde. Ann. d. Phys. u. Chem.. 11. Band. — [134] Suhle. Ueber den Einfluss der Windrichtung auf die Feuchtigkeit der Luft. Zeitschr. f. d. ges. Naturwissenschaften. 38. Band. S. 211 ff. — [135] Lamont. Regen und Schnee von Osten, Wochenbl. d. Sternwarte zu München. 1870. S. 258. — [136] Lommel, Wind und Wetter. S. 138. — [137] Schreiber, Die Bedeutung der Windrosen für theoretische und praktische Fragen der Meteorologie und Klimatologie. Ergänzungsheft Nr. 66 zu Petermann's geogr. Mittheil.. Gotha 1881. — [138] Losche, Die Vertheilung der Windstärke nach der Windrose von Dresden. Dresden 1860. — [139] Tob. Mayer, Abhandlung über die Umwälzung des Mondes um seine Axe und die scheinbare Bewegung der Mondflecke. Kosmograph. Nachrichten und Sammlungen für 1748. Nürnberg 1750. — [140] Gauss. Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium. Hamburg 1809. S. 221. — [141] R. Wolf, Biogr. etc.. 1. Band. S. 453. — [142] Gauss. Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae. Comment. Soc. Gotting.. tom. V. — [143] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 560. — [144] Gerling. Die Ausgleichungsrechnungen der praktischen Geometrie oder die Methode der kleinsten Quadrate mit ihren Anwendungen auf geodätische Aufgaben. Hamburg 1843. — [145] Hagen. Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin 1837; 2. Auflage. ibid. 1867; 3. Auflage, ibid. 1884. — [146] Helmert. Die Ausgleichungsrechnungen nach der Methode der kleinsten Quadrate. Leipzig 1872. — [147] Vogler. Grundzüge der Ausgleichungsrechnung. Braunschweig 1883. — [148] Liagre, Calcul des probabilités et théorie des erreurs. Bruxelles 1853. — [149] Airy. On the algebraical

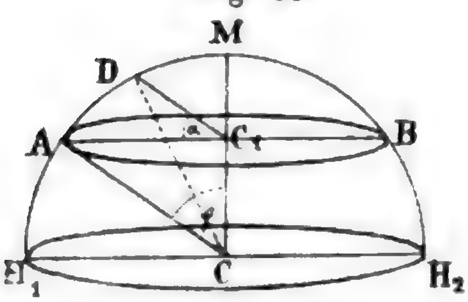
and numerical theory of errors of observations and the combination of observations, London 1861. — [150] Forti, La teorica degli errori e il metodo dei minimi quadrati con applicazioni alle scienze di osservazione, Napoli-Milano-Pisa 1880. — [151] Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik, Leipzig 1884. S. 11 ff. — [152] Lambert, Pyrometrie oder vom Maasse des Feuers und der Wärme, Augsburg 1779. S. 305 ff. — [153] Bessel, Ueber die Bestimmung des Gesetzes einer periodischen Erscheinung. Astron. Nachr., 6. Band. S. 333 ff. — [154] Ibid. S. 346. — [155] Ragona, Andamento annuale dell' umidità relativa e assoluta, Modena 1879. — [156] Hällström. Observationum thermometricarum in Madras, Rio Janeiro, Plymouth, Salzuflen, Aperoa, Boothia, porta Carica et Matotschkin-Schar per omnes fere horas anni institutarum computus, Acta soc. scient. Fennicae, tomus I. S. 273 ff. — [157] Plantamour, Nouvelles études sur le climat de Genève, Mém. de la société de phys. et d'hist. nat. de Genève, Vol. XXIV. S. 431 ff. — [158] Weihrauch, Ueber die Anwendung der Bessel'schen Formeln in der Meteorologie, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 18. Band. S. 21 ff.

Kapitel III.

Meteorologische Optik.

§. 1. **Die Gestalt des Himmelsgewölbes.** Die sphärische Astronomie geht bekanntlich von der Annahme aus, dass alle Himmelskörper sich an der Innenseite einer mit beliebigem Radius um den Standort des Beschauenden als Mittelpunkt beschriebenen Kugelfläche befänden, welche durch den Horizont in eine sichtbare und in eine unsichtbare Hälfte zerlegt wird. Der Augenschein deckt sich keineswegs mit jener rein geometrischen Voraussetzung, vielmehr erscheint uns das Himmelsgewölbe oder Firmament als ein abgeplattetes Gewölbe*). Die Thatsache soll erstmalig von einem gewissen Treiber [1] hervorgehoben worden sein; die Gestaltsbestimmung dieses Gewölbes führten Mairan und R. Smith [2] aus, welch' letzterer schliesst, wie folgt. Das, als was uns der Himmel erscheint, ist eine Kugelkalotte ABM (Fig. 31), welche ein Theil der Halbkugel $H_1 H_2 M$ vom Mittelpunkt C ist. Die Ebene des Kreises AB, dessen Centrum C_1 sein soll, ist der Ebene $H_1 H_2 C$ parallel, und es ist arc AM = arc BM. Der Beobachter sucht am Himmel durch das Augenmaass den Punkt D aus, für welchen arc AD = arc MD ist, und bestimmt sodann vermittelst eines Winkelmess-Instrumentes den Winkel $AC_1D = \alpha$. Kennt man ihn, so ist auch der Winkel $ACM = \varphi$, dessen Grösse eben die Gestalt des Gewölbes charakterisirt, zu berechnen. Um in

Fig. 31.



*) Völlig ebenso, nämlich durch die einfachsten Gründe der Perspektive, erklärt sich der früher (I. Band, S. 135) namhaft gemachte Umstand, dass die ebene oder sogar für den Beschauenden konvex gekrümmte Erde, wenn sie von einem sehr erhabenen Punkte aus betrachtet wird, eine konkave Krümmung anzunehmen scheint.

einfachster Weise die von R. Smith (a. a. O.) gegebene Bestimmungsgleichung zu erhalten, berechnet man CC_1 sowohl aus dem Dreieck ACC_1, als auch aus dem Dreieck DCC_1, in welchem $\sphericalangle DCC_1 = \frac{\varphi}{2}$, $\sphericalangle C_1DC = 180^0 - \frac{\varphi}{2} - 90^0 - \alpha = 90^0 - \left(\alpha + \frac{\varphi}{2}\right)$ ist, und bekommt, den Kugelradius mit r bezeichnend,

$$CC_1 = \frac{r \cos\left(\alpha + \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos \alpha} = r \cos \varphi;\ r\left(\cos \frac{\varphi}{2} - \operatorname{tg} \alpha \sin \frac{\varphi}{2}\right) = r \cos \varphi,$$

$$\frac{\cos \frac{\varphi}{2} - \cos \varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Nun ist $\cos \frac{\varphi}{2} - \cos \varphi = 2 \sin \frac{3\varphi}{4} \sin \frac{\varphi}{4}$, $\sin \frac{\varphi}{2} = 2 \sin \frac{\varphi}{4} \cos \frac{\varphi}{4}$, also hat man schliesslich

$$\frac{\sin \frac{3\varphi}{4}}{\cos \frac{\varphi}{4}} = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 23^0.$$

Diese Gleichung ist kubisch, und die Ausrechnung ergiebt, da die beiden anderen Wurzeln dem vorliegenden Falle nicht entsprechen, $\frac{\varphi}{2} = 16^0 33'$, $\varphi = 33^0 6'$, so dass das Verhältniss der vertikalen Entfernung des Gewölbes vom Beobachter zur horizontalen Entfernung ungefähr der Zahl $3\frac{1}{2}$ gleichkommt.

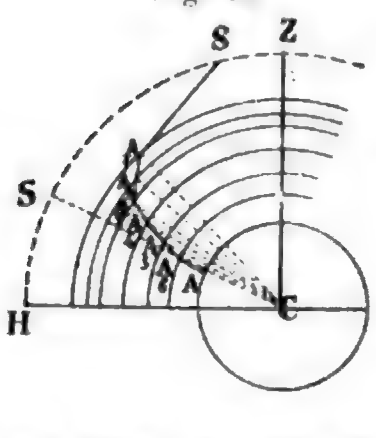
Auf dieselbe Wirkung der Luftperspektive führt Weyer, der unseres Wissens einzige Gelehrte, welcher unter den Neueren den hier berührten Fragen seine Aufmerksamkeit widmet [3], die vulgäre Beobachtung zurück, dass Sonne und Mond immer kleiner zu werden scheinen, je höher sie am Himmel hinaufrücken. Dass die Vergrösserung der scheinbaren Durchmesser auf blosser optischer Täuschung beruht, beweist klar die schärfere Vergleichung mit einem Messwerkzeug oder selbst nur mit einem zusammengerollten Bogen. Als sekundäres psychologisches Moment mag noch mitwirken, dass das Auge, wenn es nach dem am Horizonte befindlichen Gestirn gerichtet ist, weit mehr Vergleichspunkte findet, als dann, wenn das Gestirn seiner Kulmination nahe ist. Dass die Strahlenbrechung mit dem Phänomen gar nichts zu thun habe, wird sich später (in §. 2) ausweisen.

§. 2. **Strahlenbrechung in der Atmosphäre.** Mit Untersuchungen über die Ablenkung, welche die unsere irdische Lufthülle durchlaufenden Strahlen des Sonnen- und Sternenlichtes erfahren, hat man sich astronomischerseits von je her beschäftigt, und es gewährt viel Interesse, etwa an der Hand von Bruhns' historischer Monographie [4] die einzelnen Stadien im Erkenntnissfortschritt zu verfolgen. Kleomedes, der Kosmograph, suchte das schon früher (I. Band, S. 112) erwähnte

Paradoxon zu erklären, dass auch bei totalen Mondfinsternissen hie und da der Mond gleichzeitig mit der Sonne über dem Horizont gesehen werde, und meinte ganz richtig, die letztere möge wohl durch Lichtbrechung ganz ebenso über unseren Horizont emporgehoben werden, wie ein auf dem Boden eines Gefässes liegender und durch die Gefässwände verdeckter Gegenstand sichtbar werde, sobald man einiges Wasser in jenes gegossen habe; Ptolemäus wies dann die Richtigkeit dieser Erklärung nach [5]. Alhazen und Witelo hatten im Verlaufe der nächsten Jahrhunderte einige weitere Beiträge zur Kenntniss dieser Erscheinung geliefert, als eine Nothwendigkeit für die praktische Beobachtungskunst kann die Anstellung von Refraktionsbeobachtungen aber erst seit dem Auftreten des Nürnberger Patriziers Walther gelten: „Scientia astronomica," schreibt G. Vossius [6], „Norimbergae magna cepit incrementa per Bernardum Gualterum, Regiomontani discipulum, qui partim Alhazeni et Vitellionis, partim experientia edoctus, tradidit, quanti sit momenti doctrina refractionum in sideribus horizonti vicinis." Tycho Brahe und Rothmann waren noch der irrigen und erst von Kepler aus der Welt geschafften Ansicht, dass der Betrag der Refraktions-Ablenkung von der linearen Entfernung des die Strahlen aussendenden Sternes abhänge, dass er für Zenitdistanzen $< 45^0$ aber so gut wie verschwindend sei [7]. Dass auch Barometer- und Thermometerstand mit zu berücksichtigen seien, erkannte der wackere Picard [8].

Heutzutage unterscheiden wir eine astronomische und eine terrestrische Refraktion, und jede von beiden kann wieder eine rein vertikale oder aber auch eine laterale sein. Das Wesen des erstgenannten Unterschiedes ist durch die Bezeichnung selbst ausgesprochen; bei der terrestrischen Refraktion kommt es ersichtlich blos auf die der Erde zunächst anliegenden Luftschichten an, während bei der astronomischen der Lichtstrahl die ganze Atmosphäre durchdringt. Für gewöhnlich wird angenommen, dass für die nämliche Niveaufläche der Lufthülle auch die Dichtigkeit konstant ist, und da dem in der Wirklichkeit so zu sein pflegt, so tritt der Strahl aus der durch den Lichtpunkt, den Punkt des Auges und den Mittelpunkt der Erde gelegten Ebene im Allgemeinen nicht heraus. Nur selten wird diese normative Anordnung der atmosphärischen Dichtigkeit gestört, so dass der Lichtstrahl auch eine seitliche Ablenkung erfährt. Vorläufig möge hiervon abgesehen werden.

Fig. 32.



Der Einfachheit wegen nehmen wir die Niveauflächen der Atmosphäre in Fig. 32 sämmtlich als koncentrische Kugelflächen an, deren gemeinsamer Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt C der Erde zusammenfällt. Die Aenderung der Dichte erfolgt in der Natur freilich nicht sprungweise, sondern kontinuirlich, doch wird es für unsere Zwecke genügen, die Dichte als für den zwischen je zwei Flächen der Figur gelegenen Kugelring konstant vorauszusetzen. HZ sei in der Figur ein Quadrant der scheinbaren Himmelskugel, Z das Zenit, S ein Stern, dessen Zenitdistanz somit gleich ZS ist. Ein von S kommender Lichtstrahl trifft die Grenzfläche der Atmosphäre in A, und wird von hier folgeweise nach A_2, A_3, A_4, A_5, A_6 so gebrochen,

dass er zuletzt, geradlinig fortgehend, in A das Auge des Beobachters trifft *). Letzterem scheint mithin der Strahl aus jenem Punkte S_1 der Himmelskugel zu kommen, in welchem dieser die verlängerte AA_6 begegnet. Offenbar ist arc $S_1 Z >$ arc SZ: Die Refraktion vergrössert die Zenitdistanzen. Ihr Betrag verringert sich mit wachsender Höhe und wird im Zenit selbst gleich Null.

Stellen wir uns jetzt die Anzahl der Ortsflächen gleicher Dichtigkeit als in's Unendliche wachsend vor, so geht unsere gebrochene Linie $A_1 A_2 \ldots A$ in eine Kurve von einfacher Krümmung über, in die sogenannte Refraktionskurve. In diesem Sinne gehört dieselbe, von ihrer physikalischen Bedeutung abgesehen, der reinen Geometrie an; Grunert's korrekte, wenn gleich stylistisch nicht musterhafte Definition lautet folgendermassen [10]: Eine Refraktionskurve heisst jede Kurve von solcher Beschaffenheit, dass man das von einem gegebenen Punkte auf ihre Berührende in einem beliebigen ihrer Punkte jederzeit erhält, wenn man eine blos von der Entfernung dieses letzteren Punktes vom festen Punkte abhängende Funktion mit einer Grösse multiplicirt, welche für dieselbe Refractionskurve konstant ist, für verschiedene Refraktionskurven aber ihren Werth ändert.“ Die Differentialgleichung der Refraktionskurve ward von Laplace [11] so exakt entwickelt, dass sie, nach v. Bauernfeind's Ausdrucke [12], „für alle Zeiten feststeht“; die Integration vermochte aber der grosse Mathematiker nicht zu leisten, da zu dieser gewisse Voraussetzungen über die physische Konstitution erfordert werden, welche der damaligen Zeit noch mangelten, und selbst die unter dem analytischen Gesichtspunkte ausgezeichnete Schrift von Kramp [13] vermochte physikalisch nur insoweit zu befriedigen, als die Horizontalrefraktion in Frage kam. Jene Sätze über Temperatur und Druck in höheren Luftschichten, deren Auffindung durch v. Bauernfeind in §. 4 des ersten Kapitels erwähnt ward, ermöglichten dem Letzteren [14] eine Integration der Gleichung durch schnell konvergirende Reihen und damit eine so gründliche, definitive Lösung des Refraktionsproblemes, dass die nach seinen Schlussformeln berechneten Zenitdistanzen selbst für das Intervall 85^0 bis 90^0 Werthe ergaben, welche bis auf wenige Sekunden mit den aus den Bessel'schen Tafeln entnommenen übereinstimmten.

Vorher, ehe man es zu dieser Vollkommenheit gebracht hatte, hielt man sich an die Regel von Simpson [15] und an die aus jener hergeleitete Regel von Bradley-Lalande [16]: Die Refraktionen verhalten sich, wie die trigonometrischen Tangenten der um die dreifache Refraktion verminderten scheinbaren Zenit-

*) Das von Snellius — und nach P. Kramer's objektiver Urkundenprüfung [9] wohl auch ebenso selbstständig von Cartesius — entdeckte Lichtbrechungsgesetz, das Fundament der ganzen meteorologischen Optik, besagt: Geht aus einem minder dichten Medium ein Lichtstrahl in ein dichteres über, so wird er nach dem im Einfallspunkte auf der Trennungsfläche errichteten Loth hin gebrochen, so zwar, dass, wenn α und β die Winkel zwischen Strahl und Perpendikel vor und nach der Brechung bedeuten, die Relation $\sin \alpha = \mu \sin \beta$ stattfindet. μ ist der für zwei bestimmte Substanzen konstante Brechungsindex oder Brechungsexponent. Die Radien CA_1, CA_2, CA_3, CA_4, CA_5, CA_6 sind sämmtlich zugleich auch die Einfallslothe.

distanzen. Hennert gab [17] die allgemeine Formel, aus welcher diese Vorschrift durch allerdings ziemlich weitgehende Vernachlässigungen sich ergiebt. Weiter uns an diesem Orte mit der vertikalen astronomischen Refraktion zu beschäftigen*), sehen wir keine Veranlassung, nur möchten wir noch für die terrestrische Refraktion nach Weyer die den methodischen Weg klarlegende Bemerkung hinzufügen [18]: „Bestimmen lässt sich die terrestrische Refraktion sehr einfach, wenn man die gegenseitigen Zenitdistanzen zweier terrestrischer Signale beobachtet hat, welche in bekannter Entfernung von einander sind. Die Betrachtung des Dreieckes, welches die beiden Lothlinien und die Verbindungslinie der Oerter bilden, zeigt, dass die Summe der beobachteten Zenitdistanzen 180° betragen müsste, vermehrt um den Winkel, welchen die Lothlinien der beiden Oerter mit einander machen. Statt dessen findet sich in der Regel diese Summe etwas kleiner, und der Unterschied ist die reine Wirkung der terrestrischen Refraktion, wenn beide Beobachtungen gleichzeitig waren. Delambre fand aus 17 Beobachtungen die terrestrische Refraktion des Meereshorizontes = 0,0783 = $^1/_{128}$, welches mit dem Lambert'schen Werthe $^1/_{13}$ also nahe übereinstimmt.“ Die besten neueren Bestimmungen lieferte v. Bauernfeind [19].

Die terrestrische Refraktion bewirkt bekanntlich, dass die Bilder der dem Horizonte nahe befindlichen Gegenstände, wenn man letztere durch ein Fernrohr anvisirt — ja, unter Umständen sogar für die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge — in ununterbrochenem Schwanken sich befinden. Huygens [20] machte die erste dahin zielende Beobachtung bekannt, später stellte Brandes am Jahde-Busen sorgfältige Beobachtungen an, deren Ergebniss war, dass ein entferntes Blickziel, etwa ein Kirchthurm, im Laufe eines Tages einmal von unten nach oben, einmal von oben nach unten, durch das Gesichtsfeld seines stabil aufgestellten Teleskopes hindurchpassirte [21]. Als Sabler im Vereine mit Fuss die Niveaudifferenz zwischen schwarzem und kaspischem Meere zu ermitteln hatte, nahm er die Gelegenheit wahr, den periodischen Charakter des Erzitterns der Bilder zu erforschen und die Stunden des relativen Maximums wie Minimums der Oscillation zu bestimmen [22]. Natürlich erwiesen sich dieselben als Funktionen des Erwärmungszustandes der Luft. Die Erscheinungen, von welchen wir reden, können sich natürlich sehr kompliciren, wenn die gleich jetzt zu erörternde Lateralrefraktion und die später zu besprechende Luftspiegelung hinzutreten.

Schon vor 200 Jahren — nähere geschichtliche Nachweisungen hat der Verfasser schon bei einer früheren Gelegenheit gegeben [23] — hatte man bemerkt, dass unter Umständen, wenn nämlich die Niveauflächen an verschiedenen Orten eine verschiedene Dichte besitzen, der Lichtstrahl bei'm Durchwandern der Atmosphäre in eine Kurve doppelter Krümmung verzerrt werden kann. Dass die hiedurch

*) Es leuchtet ein, dass die astronomische Refraktion nicht etwa eine Verdehnung, sondern ganz direkt eine Kontraktion des scheinbaren Halbmessers von Sonne und Mond bewirkt, die sich bis auf 5 oder 6 Bogenminuten steigern kann. Es ist somit, wie schon oben bemerkt, unzulässig, die Strahlenbrechung für die auf Gesichtsirrthümern beruhende Vergrösserung dieser Himmelskorper verantwortlich zu machen.

entstehende laterale Refraktion ein Objekt nicht unwesentlich zu verschieben vermag, stellte zuerst F. Pfaff durch längere Beobachtungen fest [24], und Geodäten, wie Sonderhof [25] und A. Fischer [26], sahen die Nothwendigkeit ein, die Erscheinung im Interesse der Gradmessungsarbeiten in sorgfältige Erwägung zu nehmen. Zum Glücke ergaben v. Bauernfeind's Messungen an der bayrisch-sächsischen Grenze, dass der Einfluss der Lateralabweichung auf Höhenwinkelmessungen nur ganz selten ein belangreicher ist [27].

Durch v. Bauernfeind ist, wie wir sahen, der Nachweis geführt worden, dass die Kenntniss der Strahlenbrechung zu Gunsten allgemein-atmosphärologischer Forschungen verwerthet worden. Hartel ist auf der hiedurch vorgezeichneten Bahn weiter vorgeschritten, indem er sich bemühte, durch Messung von Zenitdistanzen Aufschlüsse über die Abnahme der Temperatur nach oben zu erhalten [28]. Allerdings hat, soweit die höheren Luftschichten in Betracht kommen, v. Oppolzer, der sich in einer sehr inhaltreichen Gelegenheitsschrift [29] über den Stand dieser Fragen verbreitet, nur wenig Hoffnung auf Erfolg; die Astronomie werde in diesem Punkte stets mehr auf die Meteorologie, als umgekehrt die Meteorologie auf die Astronomie angewiesen sein. Ein anderes sei es dagegen betreffs der unteren Luftschichten, deren Temperaturzustand die Differentialgleichung $\frac{dt}{d\rho} = \alpha + k\rho^{\sigma}(t_0 - t_m)$ recht genau darstelle. t bedeutet darin die Temperatur, ρ die Dichte der Luft, t_0 die momentane, t_m die mittlere Temperatur des Jahres für den betreffenden Ort, α wie k je eine (lokale) Konstante, während σ astronomisch, d. h. eben durch Refraktionsbeobachtungen an weit vom Zenit abstehenden Sternen, sich bestimmen lassen zu wollen scheint.

§. 3. **Das Funkeln der Sterne.** Unter diesem Namen werden in der Vulgärsprache gewöhnlich zwei verschiedene Erscheinungen zusammengefasst, welche auf verschiedenen Ursachen beruhen, und deren Auseinanderhaltung erst seit A. v. Humboldt [30] den Fachmännern geläufig geworden ist. Von allen Sternen, Planeten wie Fixsternen, scheinen Strahlen auszugehen, und diese sind ein so charakteristisches Merkmal, dass, wie Humboldt (a. a. O.) bemerkt, schon auf den altägyptischen Denkmälern die Gestirne mit diesem Attribute ausgerüstet erscheinen. Diese Strahlen, die 5 bis 6 Minuten Länge erreichen und wesentlich bewirken, dass kleine Sterne in der Nachbarschaft von hellen überglänzt werden*), werden von Humboldt nach Hassenfratz als Brennlinien auf der Krystalllinse des Auges erklärt [32]**).

Anders verhält es sich mit dem Funkeln oder Glitzern der Sterne (Scintillation). Dasselbe wird nur an den Fixsternen, an

*) Humboldt theilt nach Erzählungen P. H. L. v. Boguslawski's interessante Details über die Sehschärfe mancher Menschen mit [31], welche sogar mit freiem Auge die Jupiterstrabanten trotz der überglanzenden Strahlen des Hauptplaneten zu erkennen vermochten.

**) Lichtstrahlen, die an eine spiegelnde oder brechende Fläche gelangen, vereinigen sich nachher nur ausnahmsweise in einem Brennpunkte; gewöhnlich bilden die zurückgeworfenen und gebrochenen Strahlen Brennlinien resp. Brennflächen (Katakaustik, Diakaustik).

den Planeten so gut wie gar nicht beobachtet; insbesondere ist nicht nur die Unruhe des Sternenlichtes, sondern auch der Umstand auffallend, dass selbst von Objekten, die nachweislich nicht zu den farbigen Sternen gehören, blaue, grüne und rothe Strahlen auszugehen scheinen. Arago hat in seinem Aufsatze „Des causes de la scintillation des étoiles," welchen er für das Reisewerk seines Freundes Humboldt schrieb [33], dieses Strahlenblitzen auf das Interferenzprincip zurückgeführt. Die Fixsterne stellen sich bekanntlich auch unter den schärfst vergrössernden Fernröhren nur als untheilbare Punkte dar, die verschiedenen Lichtstrahlen, welche von einem solchen Punkte ausgehen, erleiden, da sie Luftschichten von verschiedener Zusammensetzung zu durchwandern haben, Verzögerungen von ungleicher Grösse, und es muss sich deshalb ihre Wirkung auf das Auge nach den Grundsätzen der Vibrationstheorie entweder verstärken oder aufheben, je nachdem der Gangunterschied ein gerades oder ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge ausmacht. Der Stern sendet weisses, d. h. aus allen Farben zusammengesetztes Licht aus, und in dem Augenblicke, in welchem die rothen Strahlen sich vernichten, können die Umstände etwa für das kräftigere Auftreten der grünen oder blauen Strahlen günstig liegen, so dass auch der Farbenwechsel erklärt ist. Die Planeten im Gegentheile erscheinen als Scheiben von messbarem Durchmesser, jeder Punkt dieser Scheiben sendet für sich Licht aus, und das Funkeln all' dieser Punkte bringt in Wirklichkeit die gegenseitige Neutralisirung zu Stande. Je ruhiger die Luft ist, wie z. B. zwischen den Wendekreisen, um so weniger lebhaft tritt das Phänomen der Scintillation hervor. Am eifrigsten gab sich der belgische Meteorologe Montigny dem Studium der Erscheinung hin. Er konstruirte [34] das Scintillometer, einen Apparat, welcher das Fernrohrbild eines Sternes in die schnellste Rotation versetzt, so dass es wie ein Lichtring aussieht, und zählte dann die in einer gegebenen Zeit in diesem Ringe eintretenden Farbenwechsel, welche ihm ein Maass für die Stärke der Scintillation lieferten. Durch Anwendung des Dufour'schen Satzes, dass die Scintillation dem Produkt aus der Dicke der von den Strahlen durchlaufenen Luftschicht und aus der der Höhe entsprechenden Refraktion gleich sei, machte Montigny seine 600 Scintillometerbeobachtungen an 41 Fixsternen homogen, reducirte letztere auf die gemeinsame Zenitdistanz von 60° und stellte so fest, dass die vier Fixsterntypen von Secchi (I. Band, S. 46 ff.) auch in Bezug auf das Funkeln sich geltend machen, sowie dass jene Sterne am wenigsten funkeln, deren Spektrallinien am zahlreichsten und zugleich recht deutlich zu unterscheiden sind (vgl. auch Abth. IV, Kap. IV, § 1).

§. 4. **Das Schwanken der Sterne.** Hierauf lenkte anscheinend A. v. Humboldt zuerst die Aufmerksamkeit der Beobachter, indem er berichtete, dass er am 22. Juni 1799 am Abhange des Pikes von Teneriffa tief stehende Sterne in einer ganz wunderbaren Bewegung gesehen habe [35]; dieselben stiegen in die Höhe, bewegten sich seitwärts und fielen wieder auf ihren ursprünglichen Platz zurück. Fünfzig Jahre später machte der bekannte Reisende Prinz Adalbert von Preussen ebendort eine ganz analoge Wahrnehmung. Die Thatsache scheint ausser Zweifel zu stehen, da sie nach Flesch am

20. Januar 1881 zu Trier am Sirius von mehreren Zeugen beobachtet wurde [36].

Auf eine endgültige Sacherklärung wollte sich Humboldt nicht einlassen, doch konnte er es sich (a. a. O.) nicht versagen, zum wenigsten die folgende Andeutung zu machen: „Gehörte diese Ortsveränderung zu der so viel bestrittenen lateralen Strahlenbrechung? Bietet die wellenförmige Undulation der aufgehenden Sonnenscheibe, so gering sie auch durch Messung gefunden wird, in der lateralen Veränderung des bewegten Sonnenrandes einige Analogie dar?" Der grosse Naturforscher versichert zwar, selber niemals das Geringste von einer solchen Lateralrefraktion wahrgenommen zu haben, allein in §. 2 dieses Kapitels mussten wir uns überzeugen, dass eine solche allerdings vorhanden ist. Es kommt uns deswegen auch nicht unwahrscheinlich vor, dass der Humboldt'sche Erklärungsversuch für das Sternschwanken das Richtige treffe. Eine ausführliche Studie besitzt man hierüber von dem Astronomen Schweizer [37].

§. 5. **Die Durchsichtigkeit der Luft.** Der Luft kommt die Eigenschaft der Durchsichtigkeit oder Diaphanität in hohem, jedoch nicht im absolutesten Maasse zu, die Malerei ist seit langer Zeit mit jener Wirkung der unvollständigen Durchsichtigkeit der Luft vertraut, auf welcher die Luftperspektive beruht. Die Araber prüften, wie Kazwîni meldet [38], an dem Sterne Alcor im grossen Bären die Sehkraft ihrer Augen, Humboldt aber suchte in dessen Sichtbarkeit ein Maass für die Durchlässigkeit der Atmosphäre für Lichtstrahlen zu gewinnen [39], da er denselben in Südamerika, so niedrig auch das Sternbild stand, jederzeit, in Europa und in den asiatischen Steppen dagegen nur ganz selten erblicken konnte. Wie schon in Kap. I, §. 2 andeutungsweise bemerkt ward, ist der Durchsichtigkeitsgrad der Luft wesentlich durch die in ihr enthaltenen Fremdstoffe bedingt: Staub vermindert, Wasserdampf erhöht ausserordentlich die Durchsichtigkeit*). Die Rolle, welche das atmosphärische Wasser spielt, bedarf noch weiterer Aufklärung. Nach Clausius, an dessen Arbeit wir uns hier, wie auch in anderen Theilen dieses Kapitels, gerne anlehnen [40], wird das Sternenlicht bei'm senkrechten Durchgang durch die irdische Lufthülle etwa um ein Viertheil seiner ursprünglichen Intensität geschwächt. In südlichen und kontinentalen Gegenden ist die Luft am reinsten; Olivarius erzählt [41], dass man in Persien des Nachts einigermassen grobe Schrift lesen könne, und Humboldt konnte im Gebirge von Quito seinen Begleiter Montufar an seinem weissen, vor schwarzen Basaltwänden sich hinbewegenden Mantel auf eine Entfernung von etwa 9 km ohne Fernrohr erkennen [42]**).

*) Nicht ohne Grund betrachtet es deshalb das Volk als ein Vorzeichen des Regens, wenn entfernte Gebirge sich mit ungewöhnlicher Klarheit dem Auge darstellen; es liegt eben dann stets eine grosse Wahrscheinlichkeit dafür vor, dass die Atmosphäre sehr stark mit Wasserdampf geschwängert ist.

**) Humboldt erörtert (a. a. O.) eingehender die Bedingungen, unter welchen entfernte Gegenstände gerade in die Sichtbarkeitsgrenze fallen; einerseits gehört die Frage allerdings in die Geophysik, da eben die variable Lichtabsorption der Atmosphäre mit im Spiele ist, andererseits aber muss sie von der physiologischen Optik beantwortet werden. Wie der Verf. nachwies [43], muss auch Derjenige sich mit dem Gegenstande beschäftigen, der sich für alt-

Auf messende Versuche drang zuerst unser Landsmann Lichtenberg [44], wie aus einer bisher unbeachteten Stelle seiner hinterlassenen Schriften hervorgeht. Ohne dieser Anregung theilhaftig geworden zu sein, konstruirte Saussure [45] sein Diaphanometer; von zwei ungleichen Tafeln enthielt die eine einen schwarzen Kreis von zwei Fuss, die andere einen schwarzen Kreis von zwei Zoll Durchmesser, die Kreise waren von gleichbreiten weissen Ringen umgeben, während der übrige Raum mit Grün angelegt wurde. Der Beobachter entfernte sich von den neben einander gestellten Tafeln und zeichnete auf, wann (— zuerst der kleine, dann der grosse —) die beiden Kreise seinem Gesichte entschwanden. Ohne die zwischenliegende Luft hätten sich die Entfernungen wie 1 : 12 verhalten müssen, durch die Absorption wurde dieses Verhältniss in 1 : 11,27 verwandelt. Thatsächlich konnte auf dieses einfache Verfahren keine so genaue Messung begründet werden, wie auf dasjenige Bouguer's, der photometrisch die Lichtstärken des Vollmondes im Horizont und Meridian bestimmte und aus der Differenz auf den Absorptionsverlust schloss. Indess hat v. Schlagintweit [46] die Methode nicht unerheblich vervollkommnet. Er suchte nämlich die als Durchsichtigkeitskoefficient bezeichnete Zahl auf, welche angiebt, welcher Bruchtheil einer als Einheit aufgefassten Lichtmenge dann noch vorhanden ist, wenn das Licht durch eine Luftschicht von der Mächtigkeit 1 hindurchgegangen war. Weiss und Schwarz in Saussure's Diaphanometer wurden mit einander vertauscht. Sendet dann die kleine Scheibe aus der Entfernung 1 und im vorausgesetzten luftleeren Raume die Lichtmenge i in's Auge, so ist $l = (i \cdot a^e) : e^2$ die Lichtmenge, welche die Scheibe zusendet, wenn sie in der Entfernung e aufgestellt ist, und wenn a jenen Koefficienten bedeutet. Ist ferner d der Diameter der kleinen, D derjenige der grossen Scheibe, so ist die Lichtmenge L, welche unter sonst gleichen Verhältnissen die grosse Scheibe aus der Entfernung E dem Auge übermittelt, gleich $(D^2 \cdot i \cdot a^E) : d^2 \cdot E^2$. Diess gilt allgemein; wenn jedoch l_1 und E_1 jene Distanzen sind, für welche der kleine und der grosse Fleck dem Beobachter gerade verschwinden, so ist $l = L$, also

$$\frac{i \cdot a^{e_1}}{e_1^2} = \frac{D^2 \cdot i \cdot a^{E_1}}{d^2 \cdot E_1^2}, \quad a = \sqrt[E_1 - e_1]{\frac{d^2 \cdot E_1^2}{D^2 \cdot e_1^2}}.$$

Bringt man an dem Resultate noch eine Korrektion an, durch welche dem Faktum Rechnung getragen wird, dass bei'm Akkomodiren auf nahe Gegenstände unsere Pupille sich verengert, so folgt aus v. Schlagintweit's in Höhen zwischen 600 und 700 m angestellten Beobachtungen $a = 0{,}9029$. Etwa $^1/_{10}$ der Lichtstärke geht sonach durch die Absorption der Atmosphäre verloren.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass das experimentelle Princip, an welches Saussure und v. Schlagintweit sich hielten, völlig dasselbe ist, welches dem bekannten Flecken-Photometer von Bunsen zu Grunde liegt. Nicht minder merkwürdig ist aber, dass De la Rive und Wild bei ihren sofort — nach J. Müller [47] —

---

jüdische und rabbinische Astronomie und Chronologie interessirt, da das Kalenderwesen des hebräischen Volkes in erster Linie mit dem Zeitpunkte der Sichtbarkeit der jungen Mondessichel rechnete.

zu schildernden Bestimmungen des Durchsichtigkeitskoefficienten wesentlich in dem Sinne verfuhren, nach welchem das in jedem Lehrbuch der Experimentalphysik zu findende Photometer von Ritchie angeordnet ist.

Zwei Fernröhre mit gemeinsamem Okular sind so eingerichtet, dass man die Bilder der Gegenstände, nach welchen die Fernrohraxen gerichtet sind, dicht neben einander erblickt, während als Vergleichsobjekte zwei weiss gefärbte Schirme dienen. In das Okular blickend, sieht man zwei Bilder, die im Allgemeinen von verschiedener Lichtstärke sind. Diaphragmen, welche vor die Objektive gebracht werden können, gestatten die Helligkeit beider Bilder genau gleich zu machen. Aus dem Verhältnisse der Objektivöffnungen kann man dann auf das Verhältniss der beiden Schirmen zukommenden Helligkeiten schliessen. Wild hat die Vorrichtung durch Anwendung der von ihm schon mehrfach instrumentell angewendeten polaristrobometrischen Methode *) umgestaltet und die Präcision der Messung dadurch auf's Höchste gesteigert. Er fand $a = 0{,}434$, woraus zu schliessen, dass in den tiefer gelegenen Luftschichten die Absorption eine bei weitem stärkere ist, als in den höheren, auf welche v. Schlagintweit's Koefficient sich bezog. Auch ist der Durchsichtigkeitskoefficient verschieden für Strahlen von ungleicher Brechbarkeit, und zwar scheint er derselben eher umgekehrt, als direkt proportional zu sein.

§. 6. **Die allgemeine Tageshelle.** Die Luft absorbirt, wie wir jetzt wissen, einen Theil des durch sie hindurchpassirenden Lichtes, ein weit grösserer aber wird von der Atmosphäre reflektirt [50]; ohne solche Reflexion würde die Sonne grell glänzend auf tiefschwarzen Hintergrund projicirt erscheinen. Das diffuse reflektirte atmosphärische Licht bedingt die Tageshelle. Gäbe es ein Mittel, dieses Licht für gewisse Partieen des Firmamentes zu beseitigen oder doch recht erheblich abzuschwächen, so müsste die Folge die sein, dass dasselbe dunkel erschiene, und dass die Sterne auch am hellen Tage sichtbar wären. Bislang sind solche Mittel aber noch nicht an die Hand gegeben worden**).

Indem Clausius die photometrische Schätzungsmethode von Bouguer und Lambert weiter ausbildete, fand er (a. a. O.) für verschiedene Theile des Himmelsgewölbes die in der nachfolgenden Tabelle verzeichneten Werthe:

---

*) Das Wesen dieser Methode besteht darin, dass zwei Polarisatoren in gekreuzter Stellung vor das Auge gebracht werden. Eine sehr ausführliche Monographie darüber hat Lippich geschrieben [48]. Insbesondere leitet derselbe auch eine neue Regel zur Bestimmung der Lichtintensität im Gesichtsfelde her [49].

**) A. v. Humboldt hat es sich viele Mühe kosten lassen, der vagen, aber oft gehörten Behauptung auf den Grund zu kommen, dass man aus tiefen Schachten oder Brunnen heraus die Sterne auch am Tage gesehen habe, alle Umfragen waren jedoch erfolglos [51], vielleicht einen einzigen Fall ausgenommen. Auf dem Gipfel hoher Berge soll es sich nach Saussure [52] ähnlich verhalten, allein Humboldt, Bonpland, Boussingault, A. und H. v. Schlagintweit haben sämmtlich nur negative Ergebnisse in dieser Richtung erhalten.

Zenitdist. d. Sonne	Menge des dir. Sonnenl. ohne atmosph. Schwächung	Menge des dir. Sonnenl. mit atmosph. Schwächung	Menge des vom ganzen Himmel kommenden Lichtes
0°	1,000	0.750	0,186
30	0.866	0,621	0.177
60	0,500	0,281	0,138
80	0,174	0,033	0.067

§. 7. **Die Färbungen des Himmels.** Bekanntermassen erscheint der nicht mit Wolken oder Nebeln bedeckte Himmel mehr oder minder intensiv blau gefärbt. Wie diese Färbung zu Stande komme, ist selbst heute noch nicht völlig erklärt, obwohl man seit geraumer Zeit schon die Frage erörtert hat. Schon vor nahezu 170 Jahren erschien darüber ein in seiner Art sehr verdienstliches Buch von Funck [53], welches vor Kurzem erst durch Hellmann einer unwürdigen Vergessenheit entrissen wurde [54]. Messungen über den koloristischen Charakter des Firmamentes sind zuerst von Saussure angestellt worden; derselbe hatte nämlich, wie Wolf berichtet, bei seiner berühmten Montblancbesteigung eine Pigment-Skale bei sich [55], welche sich gut bewährte und ihn auf die Idee brachte, einen förmlichen Messapparat herzustellen. Andere folgten ihm nach, und heute sind drei verschiedene Apparate zu diesem Zwecke im Gebrauche*).

a) **Saussure's Kyanometer.** Eine Kreisplatte ist in 51 Sektoren getheilt, deren jeder mit einem blauen Pigment ausgefüllt ist. Der Sektor 1 ist völlig weiss, Sektor 51 dunkelschwarzblau. Der Beobachter stellt die Vergleichung nach dem Augenmaasse an. Die Himmelsfarbe, von der Spitze des Montblanc aus betrachtet, entsprach dem Sektor 39. A. v. Humboldt hatte ein solches Kyanometer in Südamerika bei sich und konstatirte damit, dass die Himmelsbläue sich vermehrt, je mehr man von der Küste eines Festlandes gegen das Innere fortschreitet. Prevost kam zu leidlich stimmenden Zahlen, als er versuchte [56] den einer bestimmten Zenitdistanz z entsprechenden Kyanometergrad k durch die Relation $k = A - B \sec z$ darzustellen.

b) **Parrot's Kyanometer,** zum Unterschiede von dem vorigen auch Rotationskyanometer genannt**). Im Wesentlichen ein mit Rotationsvorrichtung versehenes Saussure'sches Instrument, doch sind die Sektoren zum Abheben und zum Aufsetzen auf eine schwarze oder weisse Scheibe eingerichtet. „Aus der Anzahl der blauen Scheiben, die man auf die weisse oder die schwarze Scheibe bringen muss, um eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schliessen."

c) **Arago's Polarisationskyanometer.** Doppeltbrechende Kalkspathplättchen zeigen bei bestimmter Dicke im polarisirten Lichte eine blaue Färbung, welche sich Arago zum Vergleichsobjekte ausersah. In seiner brieflich an Humboldt übermittelten Beschreibung schildert

*) Biot's „Colorigrade" nahmen wir aus, weil diese Vorrichtung zum terrestrischen Gebrauche bestimmt und wohl niemals noch in der meteorologischen Optik zur Verwendung gelangt ist.

**) Unser Citat ist dem Müller'schen Werke [57] entnommen.

go den Gebrauch des Werkzeuges [58], eines in einer Röhre ale") eingeschlossenen und mit ersterer um eine horizontale Axe rehbaren Polariskopes: „La couleur bleue fournie par l'instrument va en augmentant avec l'inclinaison de la pile, et l'on arrête lorsque cette couleur paraît la même que celle de la région de l'atmosphère dont on veut déterminer la teinte cyanométrique, et qu'on regarde à l'oeil nu immédiatement à côté de l'instrument."

Die praktische Seite sei hiemit erledigt; es erhebt sich aber jetzt die Frage, wie denn überhaupt das Himmelsblau zu Stande komme. Hier sind im Ganzen fünf verschiedene Hypothesen zu unterscheiden; der rationellsten unter ihnen weisen wir die letzte Stelle an.

a) **Lionardo da Vinci's Hypothese.** Goethe hat dieselbe aufgenommen und mit seinem Geiste durchdrungen [59]. Blau erscheint nach seinen farbentheoretischen Grundsätzen da, wo das Dunkle durch ein trübes Mittel angeschaut wird, Roth da, wo Licht sich hinter einem trüben Mittel befindet. Deshalb muss die an sich dunkle Tiefe der Himmelsräume blau, die untergehende Sonne roth erscheinen. Die Anhänger von Goethe's Farbenlehre dürften heutzutage wohl zu zählen sein.

b) **Muncke's Hypothese.** Das Blau des Himmels soll eine rein subjektive Farbe sein und mit dem wirklichen Verhalten der Natur gar nichts zu thun haben [60]. Muncke's angeblich sehr schlagender Experimentalbeweis ward von Brandes widerlegt [61], und in der That liegt auch eine Verkennung mehrerer Umstände vor.

c) **Newton's Hypothese.** Clausius, der uns hier hauptsächlich zur Vorlage dient [62], bemerkt, dass Newton das von den in der Luft schwebenden Wasserbläschen reflektirte Licht als den maassgebenden Faktor betrachtete. Die Lichtstrahlen interferiren und erzeugen dadurch die verschiedenen Himmelsfarben.

d) **Forbes' Hypothese.** Dem schottischen Physiker zufolge [63] kommt Wasser in der Atmosphäre in drei verschiedenen Formen vor: in Gasform, in Bläschenform und in einem gewissen Uebergangszustande. Je nach dieser seiner verschiedenen physikalischen Beschaffenheit lasse das atmosphärische Wasser nur diese oder jene farbigen Strahlen des diffusen Himmelslichtes durch. Wir haben gleich nachher noch einmal auf die Theorie von Forbes zurückzukommen.

e) **Die Weiterführung der Newton'schen Lehre durch Clausius.** Dünne Plättchen reflektiren bekanntermassen das weisse Licht so, dass eine von dem Grade der Dicke abhängige Spektralfarbe entsteht. Hierdurch entstehen die sogenannten Newton'schen Farbenringe, deren Erforschung den grossen Mann seit 1675 beschäftigte [64]. Auch das hindurchgehende Licht erleidet Veränderungen, wennschon in geringerem Grade. Clausius nimmt nun an, dass bei heiterem Wetter die Luftbläschen sehr dünnwandig sind und deshalb das von der Theorie geforderte blaue Licht zurückwerfen; wird die Luft feuchter, so treten an den schon vorhandenen und sich verdickenden Bläschen andere Farben hervor, aber es bilden sich auch gleichzeitig immer wieder neue Bläschen, welche Blau abgeben. Das sogenannte Blau der ersten Ordnung*) wird immer unbestimmter und verwandelt sich

*) Legt man ein Glasstück von sehr geringer Krümmung auf eine Platte

zuletzt gänzlich in Weiss. Je mehr die Bläschen wachsen und sic verdicken, um so undeutlicher wird die Farbenmischung, und zuletzt tritt vollkommene Undurchsichtigkeit ein. J. Müller pflichtet dieser Darlegung der Hauptsache nach bei und meint nur, es sei das Himmelsblau nicht sowohl ein einfaches, als vielmehr ein „potenzirtes" Blau der ersten Ordnung [65].

Wir sprachen bisher einzig und allein von der blauen, nicht aber auch von jener schönen rothen oder rothgelben Färbung des Himmels, welche man als Morgen- und Abendröthe kennt. Gerade um dieser Erscheinungen willen hat aber Forbes sein System sich gebildet. Derselbe stand eines Tages neben einer Lokomotive, aus deren Sicherheitsventil der Dampf energisch ausströmte, und als er zufällig durch den Dampf hindurch nach der Sonne blickte, sah er zu seinem Erstaunen dieselbe tief orangeroth gefärbt, doch fand diess, wie spätere Versuche lehrten, nur in nächster Nähe des Ventiles statt. Gerade in jenem Aggregatzustande, welchen der Wasserdampf bei'm Ausströmen besitzt, schien derselbe also mit Vorliebe nur die Orange-Strahlen des Lichtspektrums durchzulassen, und so glaubte Forbes annehmen zu dürfen, dass des Morgens und des Abends der atmosphärische Wasserdampf gerade in der zur Absorption der langwelligen Farbe geeigneten Verfassung sich befinde. Der Unterschied zwischen den Anschauungsweisen von Forbes und Clausius ist hiernach, näher besehen, kein grosser, denn jener Zustand, welchem die ganz dünnen Wasserkügelchen entsprechen, ist eben wirklich ein Zwischenzustand zwischen der reinen Gasform ohne Bläschen einerseits und der Nebelform andererseits.

Die Dämmerungserscheinungen werden uns nöthigen, an die hier vorläufig abzubrechenden Betrachtungen über Himmelsfarben wieder anzuknüpfen.

§. 8. **Das Wasserziehen der Sonne.** Mit der Abendröthe häufig verbunden sieht man die sogenannten Dämmerungsstrahlen („rayons crépusculaires"). In der Luft schwebende Cumuluswolken erscheinen als durch Lücken unterbrochen, und durch diese Lücken brechen Sonnenstrahlenbündel mit grellem Glanze hervor. Im Volksmunde heisst es alsdann: Die Sonne zieht Wasser. Diese Strahlenbündel sind in Wahrheit unter sich parallel, ihre fächerförmige Ausbreitung ist nur eine Wirkung der Perspektive. Bei heiterem Wetter können die Dämmerungsstrahlen oft auch noch nach Untergang der Sonne deutlich gesehen werden („Buddah's rays" in Ostindien).

Ganz ungleich seltener beobachtet man das Wasserziehen nach dem Gegenpunkte der Sonne; Heis, der sich diese merkwürdige Erscheinung nicht entgehen liess [66], weiss ausser spärlichen eigenen Wahrnehmungen nur noch zwei dahin zielende Beobachtungen von Groth und Carl namhaft zu machen. Der Grund für diese schein-

und presst es durch Schrauben an diese an, so bilden sich um den Berührungspunkt als Centrum koncentrische Farbenkreise, durch dunkle Ringe getrennt, sobald senkrecht Licht einfallt. Eine und dieselbe Farbe kommt, wenn schon in sehr verschiedenen Nuancirungen, mehrfach vor, und so hat man sich zur Auseinanderhaltung entschlossen, die Farben von innen nach aussen zu mit Ordnungszahlen zu belegen.

Anomalie ist jedoch ein ziemlich naheliegender: „Bildet das ...nelsgewölbe,“ so drückt sich Heis (a. a. O.) in der Kunstsprache Perspektive aus, „gleichsam die Bildtafel, so ist der Konvergenz...kt für die Lichtstreifen nach der Sonnenseite zu der Sonnenmittel...kt selbst, dagegen für die der Sonne entgegengesetzten Streifen ...a Punkt der Kugelfläche, welcher der Sonne in Bezug auf den Beobachter gerade gegenüber steht, der sogenannte Gegenpunkt des Sonnenmittelpunktes.“ Wesentlich ähnlich lautete schon die Erklärung R. Smith's.

§. 9. **Die Polarisation des Himmelslichtes.** Da das blaue Himmelslicht wesentlich reflektirtes Licht ist, so musste a priori erwartet werden, dass dasselbe theilweise polarisirt sei. Die Polarisation muss in jenen Theilen des Firmamentes, welche beinahe um einen Quadranten von der Sonne abstehen, am stärksten, in unmittelbarer Nähe der Sonne und ihres Gegenpunktes am schwächsten sein [67]. Die Polarisationsebene für Licht, das von einem bestimmten Himmelspunkte herkommt, geht durch diesen Punkt und zugleich durch das beobachtende Auge und durch das Sonnencentrum. Arago fand einen neutralen Punkt, 12° bis 25° vom Gegenpunkt auf, für welchen die Polarisation ganz verschwindet, um sodann aus der senkrechten in eine horizontale überzugehen; Babinet fand einen zweiten derartigen Punkt, Brewster entdeckte einen dritten. Total ist die Polarisation nirgendwo, weil das Nebenlicht zu sehr störend einwirkt; dieses Nebenlicht, welches immer vorhanden ist, da ja nicht die Sonne allein leuchtet, bedingt auch die Existenz der neutralen Punkte.

Höchst eingehend werden alle einschlägigen Fragen von J. Müller abgehandelt [68]; daselbst findet man auch eine Beschreibung der Polaruhr Wheatstone's [69], einer geistreichen Spielerei, durch welche aus den wechselnden Polarisationsverhältnissen auf den Stand der Sonne und durch diesen wieder auf die Zeit geschlossen werden soll. Unserem obigen Gewährsmanne entnehmen wir auch die Nachricht [70], dass nicht allein das Licht des blauen Himmels, sondern auch jenes Licht polarisirt ist, welches dem Erdboden zunächst anliegt. Ferne Gebirgszüge, bei'm momentanen Zustande der Atmosphäre kaum sichtbar, werden nicht selten nach Hagenbach-Bischoff ganz gut wahrnehmbar, sobald man ein Nicol'sches Prisma dem Okular des Beobachtungsfernrohres vorstellt.

§. 10. **Atmosphärische Linien im Sonnenspektrum.** Wenn die Sonne nahe am Horizonte steht, so treten in ihrem Spektrum dunkle Linien und Bänder auf, welche man als durch die Lichtabsorption der Atmosphäre entstanden betrachten muss. Einer Andeutung von Zantedeschi Folge gebend, sind Brewster und Gladstone gemeinsam an das Studium dieser merkwürdigen Absorptionserscheinung herangetreten [71], und der Zweitgenannte hat ihr noch weiter eine wichtige Abhandlung gewidmet [72]. Die atmosphärischen Linien rühren, wie Janssen durch ein geschicktes Experiment dargethan hat [73], grossentheils vom Wasserdampfe der Luft her, andere Absorptionspartieen scheinen dagegen auf die Einwirkung der Kohlensäure hinzudeuten. Auch treten nach Janssen diese Streifen auf hohen Bergen minder

intensiv auf, als in der Ebene; Näheres hierüber berichtet [74] Hennessey.

Wenn die Sonne sinkt, so verschwindet zunächst der violette Theil des Spektrums bis zur Linie G*), es treten Absorptions-Bänder und Linien in Roth und Gelb auf, welche sich mehr und mehr verdunkeln. Am längsten erhalten sich die helleren Theile in Roth und Orange zwischen B und D, sowie die grüngelbe Partie links von δ.

Die mit namhaften Atmosphären behafteten Planeten, namentlich Mars und Jupiter, lassen in ihren Spektren die Erdlinien sehr verstärkt in die Erscheinung treten. Lehrreiche Untersuchungen hat auf diesem Felde besonders Secchi angestellt [75]. — Piazzi Smyth's Behauptung, dass je nach der zu erwartenden Witterung verschiedene atmosphärische Linien regelmässig verschwänden, dass sonach das Regenband im Spektrum zu einer wichtigen prognostischen Rolle berufen sei, hat vermuthlich nur wenige Meteorologen zu überzeugen vermocht [76].

Bei dieser Veranlassung möge es gestattet sein, den Leser noch mit gewissen anderen atmosphärologisch-spektroskopischen Untersuchungen bekannt zu machen. Vogel hat durch Beobachtungen in südlichen Meeren [77] eruirt, dass Bunsen-Roscoe's Satz, wonach die chemische Intensität des Sonnenlichtes mit der wachsenden Sonnenhöhe zu- und mit wachsendem Barometerstande abnehmen soll, nicht allgemein gelte, indem selbst ein zarter Schleier von Dunstbläschen die Intensität des Lichtes beträchtlich ändere. Für eine Stadt-Atmosphäre ist die chemische Wirkung des Nachmittages allerdings geringer, als des Vormittages, für die Meerluft ergiebt sich aber das gerade Gegentheil. Ferner hat Vogel das Licht der berühmten „Grotta azurra“ auf Capri mit dem Spektroskope geprüft [78]. Die Luft steht allerdings ausserhalb der Höhle mit der innen befindlichen in Verbindung, doch erwies sich wesentlich das aus dem Wasser kommende Licht als maassgebend. Das Roth desselben ist gänzlich ausgelöscht, das Gelb verblasst, Grün, Blau und Indigo sind sehr hell, die Linien E und b bilden einen einzigen dicken Absorptionsstreifen, wogegen die Linie D vollständig verschwunden ist.

§. 11. **Geometrische Theorie der Dämmerung.** Wir tragen in diesem Paragraphen jene Ansichten über Dämmerung vor, welche im Keime schon bei den Optikern des Alterthums und Mittelalters zu finden sind, späterhin von Lambert [79] zu einem in seiner Art höchst achtungswürdigen Systeme zusammengefasst wurden und auch in Clausius' Darstellung [80] keine einschneidende Abänderung erfuhren. Die Behandlungsweise dieser Autoren ist eine mathematische, wogegen in der neuesten Zeit dieser formalen oder — nach v. Bezold's mehrfach gebrauchtem Ausdrucke — schematischen Theorie eine physikalische Analyse des Dämmerungsprocesses zur Seite gestellt ward. Da die Lambert'sche Theorie aber eben doch die feste Grundlage für alle

*) Wie schon früher, sei auch jetzt daran erinnert, dass die einzelnen dunklen Linien des Spektrums schon von ihrem Namengeber Fraunhofer durch grosse lateinische Buchstaben bezeichnet worden sind; später musste man kleine lateinische und griechische Buchstaben und schliesslich sogar Ordnungszahlen hinzunehmen.

tiefer eindringende Forschung darbietet, so ziehen wir es vor, uns für's Erste mit ihr allein zu beschäftigen, alle weiteren Nachweisungen aber an die Charakterisirung gewisser spezieller Erscheinungen anzuknüpfen, deren Studium jenen Fortschritt geradezu bedingte.

Wenn es keine Atmosphäre gäbe, so würde nach dem Untergange der Sonne keine gleichmässige Abnahme der Helligkeit eintreten, vielmehr würde mit dem Augenblicke, in welchem der oberste Sonnenrand unter den Horizont hinabrückt, absolute Dunkelheit sich über die Erde verbreiten. Dem wirkt die sogenannte Dämmerung entgegen. Die bürgerliche Dämmerung dauert solange, bis die Sterne erster Grösse am Himmel deutlich sichtbar werden, die astronomische Dämmerung ist zu Ende, wenn auch die kleinsten für das unbewaffnete Auge noch erkennbaren Sterne sich bemerkbar machen. Das Aufhören der beiden Kategorieen von Dämmerung entspricht bezüglich einer Sonnenhöhe von — 6° und von — 18°. Je höher die Breite ist, einen umso kleineren Winkel bildet die Sonnenbahn mit dem Horizont, umso länger dauert mithin die Dämmerung. Helle Nächte heissen diejenigen, für welche die Morgendämmerung sich unmittelbar an die Abenddämmerung anschliesst, wie denn unter 50° lat. die hellen Nächte vom 1. Juni bis zum 12. Juli reichen; schon in der Breite Stockholm's macht sich die für die menschlichen Nerven so ungünstige Wirkung der hellen Nächte geltend, welche sich jenseits des Polarkreises bis zur Unerträglichkeit steigert. Alle diese Fakta bringt bereits der aus der Geschichte der Instrumentenkunde bekannte Portugiese Nuñez (Nonius) in seiner Monographie über Dämmerung [81] vor, in welcher auch zuerst die später berühmt gewordene Aufgabe vorgelegt wird: Für eine gegebene geographische Breite den Tag und die Dauer der kürzesten Dämmerung zu bestimmen*). Die oben angegebenen Grenzzahlen sind natürlich nur Durchschnittswerthe und nicht für alle Erdgegenden gleichmässig gültig; so will Bravais für Frankreich die obige Zahl 18° durch 16° ersetzt wissen [85]. Die ungleiche Durchsichtigkeit der Luft bedingt auch sehr ungleichförmige Reflexionsverhältnisse. Sehr kurz ist die Dämmerung in Dalmatien und in Südamerika, in Cumana dauert sie nur wenige Minuten**).

Verfolgen wir nun mit Lambert die Erscheinungen der Dämmerung im Einzelnen, so sehen wir im Osten ein deutlich begrenztes dunkles Segment sich erheben, das sich allmählig bis über das Zenit

---

*) Johann Bernoulli betrachtete diese Aufgabe als sehr schwierig und löste sie erst nach vielen fehlgeschlagenen Versuchen [82]. Aber auch später schien doch wenigstens ein stattliches Aufgebot von Differentialrechnung zu ihrer Auflösung erforderlich, wie man aus R. Wolf's Darstellung [83] ersehen kann, und es erregt deshalb Verwunderung, dass Stoll die Hauptformel $\sin d = - \sin \beta \operatorname{tg} 9^0$ (d Sonnendeklination, β Breite) durch die einfachsten Sätze der sphärischen Trigonometrie zu gewinnen im Stande war [84]. Aus der Deklination die Zeit zu finden, hat natürlich keine Schwierigkeit mehr.

**) Man darf sich deshalb nicht darüber wundern, dass trotz oder vielmehr gerade wegen der grossen Bedeutung, welche das jüdische Ritualgesetz auf die genaue Begrenzung gewisser Zeiten durch Lichteffekte legt (vgl. auch oben §. 5), die Ansichten der Talmud-Kommentatoren über die Begriffsbestimmung von „Zwielicht“ und „Dämmerung“ weit aus einander gehen. So berichtet [86] Zuckermann, einer der besten Kenner rabbinischer Mathematik und Naturlehre.

hin ausbreitet. Im Momente, wo dieses Segment den ganzen Himmel eingenommen hat, ist eigentlich das Ende der Dämmerung da. Lambert führte an einem bestimmten Tage (19. November 1759) auf Brander's Sternwarte genau Buch und Rechnung über das Fortschreiten der Dämmerung und gelangte dabei zu Ergebnissen [87], welche Clausius (a. a. O.) kurz in eine Tabelle zusammendrängte:

Stunde	Min.	Neg. Sonnenhöhe	Beobachtete Thatsachen
4	26	0° 0′	Wirklicher Sonnenuntergang.
4	29	0 33	Scheinbarer (durch die Refraktion vergrösserter) Sonnenuntergang.
4	36	1 34	Erste Verdunklung des Osthimmels unmittelbar am Horizont.
5	5	5 56	Moment, in welchem die Beschattung des Osthimmels das Zenit erreicht.
5	19	8 3	Höhe des hellen Scheines am östlichen Himmel gleich 8°30′.
5	25	8 59	„ „ „ „ „ „ „ „ 7 15.
5	43	11 48	„ „ „ „ „ „ „ „ 5 45.
6	4	15 5	„ „ „ „ „ „ „ „ 3 15.

Die sogenannte erste Dämmerung ist vorüber, wenn wegen der Erdkrümmung keine reflektirten Strahlen mehr direkt an den betreffenden Ort gelangen können — man denke an das in §. 6 des ersten Kapitels durchgesprochene Problem des Alhazen. Solange noch durch zweimalige Reflexion Lichtstrahlen den Ort erreichen können, hat derselbe die zweite Dämmerung, und so giebt es theoretisch Dämmerungen von jeder beliebigen Ordnung. Schon die dritte Dämmerung ist aber kaum noch in's Auge fallend, während der Einfluss der zweiten nach Lambert's Tafel noch recht wohl sich geltend macht; es würde sonst die Ausbreitung des dunklen Segmentes mit weit grösserer Geschwindigkeit vor sich gehen.

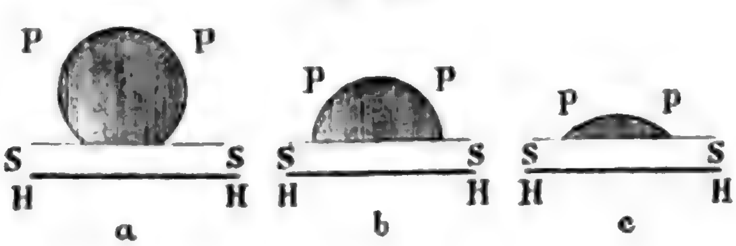
Unmittelbar über dem sich ausbreitenden dunklen Segmente befindet sich eine mehr und mehr zusammenschrumpfende farbige Schicht. Diess ist die sogenannte Gegendämmerung — nach Mairan „anticrépuscule" —, auf deren Existenz der uns bereits bekannte Funck zuerst mit folgenden Worten aufmerksam gemacht hat [88]: „Non subsistunt colores crepusculini in illa coeli parte, in qua sol oritur aut occidit, sed et diffunduntur ulterius, imo non raro ad horizontem oppositum usque." Am Westhimmel ist während dessen das helle Segment aufgetreten. An Beobachtungen über die Einzelheiten dieser wichtigen Unterarten des grossen Dämmerungsphänomenes mangelt es noch sehr, doch werden sich dieselben wohl bald mehren, nachdem v. Bezold [89] detaillirte Rathschläge über das bei'm Beobachten nöthige Verhalten den Reisenden an die Hand gegeben hat.

§. 12. **Dämmerungserscheinungen im Hochgebirge.** Das sogenannte Alpenglühen bot für v. Bezold die erste Veranlassung, die soeben erörterte schematische Dämmerungstheorie der griechischen und arabischen Geometer zu vervollkommnen [90]. Das Thatsächliche der pittoresken Erscheinung ist Vielen bekannt. Einige Zeit, ehe die Sonne unter den Horizont herabsinkt, beginnen die östlich vom Beobachter

gelegenen Berge sich mit einem röthlichen Farbentone zu überziehen, der allmählig an Intensität zunimmt und, wenn steile Felsböschungen oder Schneefelder vorhanden sind, in das eigentliche Glühen übergeht. Der von unten ansteigende Schatten deckt nach und nach die glühenden Partieen zu, und auch der röthlich schimmernde Osthimmel wird bald völlig grau. Inzwischen beginnen die Gipfel aber wieder schwach erleuchtet zu werden, und ihre Farbe verwandelt sich in raschen, abwechselungsvollen Uebergängen in das reinste Fleischroth. Etwa eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang zeigt sich dieses Nachglühen am stärksten entwickelt, ja es tritt sogar nicht selten — etwa wieder um eine halbe Stunde später — ein zweites mattes Nachglühen ein. Für einzelne Alpengegenden ist die Aufeinanderfolge dieser Erscheinungen eine sehr regelmässige, so z. B. im Chamounix-Thale*), wo sich die Einwohner für die Hauptphasen die folgenden Bezeichnungen gebildet haben: „coloration brillante", „teinte cadavéreuse", „résurrection", „extinction". Der Name Leichenfarbe kommt übrigens auch im Deutschen vor. Aus den langjährigen Beobachtungen von R. Wolf geht hervor [92], dass dem Beginne der fünf Erscheinungsformen des Alpenglühens die Höhen $+5^\circ$, $+2^\circ$ bis -2°, -3°, -4°, -5° entsprechen.

Die Erklärung dieses lange Zeit hindurch weit mehr unter künstlerischem, als unter naturwissenschaftlichem Standpunkte aufgefassten Phänomenes ist in der formalen Dämmerungstheorie keineswegs enthalten. v. Bezold weist darauf hin (a. a. O.), dass man nicht allein den Osthimmel, sondern insbesondere auch den der Untergangsstelle gegenüberliegenden Theil des Firmamentes in's Auge zu fassen habe. Dort entwickelt sich nämlich, gleichzeitig mit dem Nachglühen, ein rosenrother Schein von ziemlicher Ausdehnung, das Purpurlicht, welches endlich in Gestalt einer riesigen Scheibe einen grossen Theil des Westhimmels umfasst. Auch im Flachlande kann bei einiger Aufmerksamkeit jenes erneute Anwachsen der Helligkeit beobachtet werden; über dem oben erwähnten hellen Segmente, d. h. einer gelblichrothen, weiss begrenzten Schicht bildet sich eine schwach leuchtende, purpurne Scheibe, welche sich dem hellen Segmente nähert und nach und nach hinter ihm versinkt. Fig. 33 stellt in a, b und c drei Stadien

Fig. 33.



des Untersinkens des Purpurlichtes PP unter das helle Segment SS dar; HH ist jedesmal der Horizont. Selbst an entfernten Gebäuden

*) Waltenberger führt auch die besonders schönen Lichtreflexe an, welche die kahlen Wände der Loferer und Leoganger „Steinberge" und noch mehr der Reitalm, von Lofer im Mitterpinzgau aus betrachtet, zu zeigen pflegen [91]. Verf. kann diese Angabe aus eigener Erfahrung nur bestätigen.

lässt sich nicht selten ein der „*résurrection*“ vergleichbarer Schimmer wahrnehmen.

Die Farben trüber Mittel, in welchen Brücke eine Folge vielfacher Reflexionen, Lommel eine solche von Beugungen erblickt, hält v. Bezold schon dieser Schwierigkeit der Erklärung halber nicht für rathsam heranzuziehen. Jedenfalls aber irre Alhazen sammt seinen Nachfolgern darin, dass er den dunklen Erdschatten über das ganze Himmelsgewölbe hinweg sich ausbreiten lasse, was keineswegs für mittlere Breiten zutreffend sei. Lambert's scharfe Kontrole des allmähligen Aufsteigens dieses Schattens wolle mehr leisten, als auch von dem besten Beobachter geleistet werden könne. Hier liegen demnach noch Räthsel vor, die ihrer Lösung harren; die geometrische Auffassung der Dämmerungen von verschiedener Ordnung hat zweifellos ihre bedingte Richtigkeit, allein, da ihr zufolge das mehrfach reflektirte Sonnenlicht doch zunehmend an Intensität einbüssen müsste, so bleibt die plötzliche Steigerung jener bei'm Nachglühen unaufgeklärt. Insbesondere wissen wir vom Purpurlicht noch wenig Bescheid. Wenn konsequente Dämmerungsbeobachtungen vorliegen werden, die in den Alpen, in Wüsten und auf hoher See angestellt sind, so wird es Zeit sein, die Untersuchung von Neuem aufzunehmen *). Einiges dankenswerthe Material hiefür hat bereits Burkhardt-Jezler [93] gesammelt und diskutirt. Auch eine Beobachtung De la Rive's vom Montblanc [94] verdient Beachtung. Uebrigens ist die Ansicht, dass das Dämmerungslicht nicht einzig und allein auf reflektirte Strahlen zurückzuführen sei, keine ganz neu auftretende, wie denn schon vor 170 Jahren Keill sich dahin vernehmen liess [95]: „Circumfusa sol aura aetherea, illiusque quasi atmosphaera etiam splendet post solis occasum, cumque haec oriendo et occidendo longius impendit tempus quam sol, ante solis ortum, aurora circulari figura oritur.“ Vielleicht möchte es sich auch verlohnen, den schon von Lambert (I. Band S. 86) betonten Einfluss des Thierkreislichtes weniger zu unterschätzen. Schlesicke citirt ganz richtig eine Bemerkung La Caille's über diese Erscheinung, wie sie auf Isle de France sich darstellt [96]: „La lumière zodiacale était extraordinairement claire et longue. Les habitants la remarquent très-bien et la croient une vraie lumière du crépuscule, on ne peut même les en abuser.“

§. 13. **Anomale Dämmerungserscheinungen.** Es soll in diesem Paragraphen die Rede sein von gewissen sehr auffallenden Farbenerscheinungen, welche im Verlaufe der Abenddämmerung (in weit geringerem Maasse auch derjenigen des Morgens) beobachtet wurden. Jedermann weiss, dass die Herbstmonate des Jahres 1883 und auch die Wintermonate bis in das neue Jahr herein durch jenes Nebe

---

*) v. Bezold erklärt auch (a. a. O.) die bekannte Thatsache, dass die entfernten Berge im Lichte der Morgen- und Abendsonne ein besonders lebhaftes Farbenspiel erkennen lassen; der Grund hiefür ist einfach der, dass die Lichtstrahlen um jene Zeit einen weiteren — und zugleich gekrümmteren — Weg durch die umgebende Lufthülle zurückzulegen haben. Dazu kommt noch, dass ein hoher Berg ungleich länger direkter Insolation ausgesetzt ist, dass also, der bereits in tiefes Dunkel gehüllten Ebene gegenüber, die Kontrastwirkung noch als vergrösserndes Element hinzutritt.

glühen ausgezeichnet gewesen sind, dessen wir schon im ersten Bande (S. 351) zu gedenken hatten. Irgendwie neu ist, wie auch an jenem Orte bemerkt ward, das Phänomen nicht, wenigstens nicht für die Forschung. Auf das abnorme Blaugrün („Greenish-blue"), welches hie und da wahrgenommen werde, wies bereits Th. Forster hin [97]. Die in jenen Tagen konstatirte Aufeinanderfolge der Farben war im Grunde keine andere, als jene, die auch Burkhardt-Jezler (s. o.) unter den Tropen als eine ziemlich normale erkannt hatte; es war im Wesentlichen das Farbenspiel der von Poëy so genannten prismatischen Dämmerung [98]. Zur Erklärung dieser für unsere Breiten bei alledem abnormen Dämmerung sind die verschiedensten Ansichten in Umlauf gesetzt worden.

a) **Die Eisnadel-Hypothese.** Nach Ragona [99] sollen in einer Höhe von etwa 60 km ungeheure Bänke von prismatischen Eisnadeln schweben; die brechenden Winkel wenden diese drei- und sechsseitigen Prismen der Erde zu, eine ihrer Seiten der Sonne, eine zweite der äusseren Grenze der Atmosphäre. Aehnliche Gedanken finden sich in den von W. Meyer für die wissenschaftliche Beilage der Wiener „N. fr. Presse" geschriebenen Artikeln, und auch Falb steht auf diesem Standpunkt.

b) **Die kosmische Hypothese.** Durch irgendwelche und zunächst nicht näher zu bestimmende Ursachen, so nimmt v. Zech an [100], soll die Erdatmosphäre grössere Quantitäten von Wasserdampf in sich aufgenommen haben, der ihr aus dem Himmelsraume zugeführt worden sei. Diese extratellurische Dampfwolke würde sich nach ihrem Eintritt in unsere Lufthülle langsam nach unten verbreiten und dabei an Dichte zunehmen, bis ihre Mächtigkeit eine solche geworden, dass sie hinlänglich viel Sonnenstrahlen absorbirte, um sich unserem Auge als eine Schicht von intensiv rother Farbe darzustellen.

c) **Die tellurische Hypothese.** Lorscheid's Theorie ist [101] in dem eigentlichen Kernpunkte von der soeben besprochenen nicht verschieden, indem auch sie eine ungewöhnlich starke Vermengung der atmosphärischen Luft mit Wasserdampf — im Sinne von Forbes (s. o. §. 7) — als genügenden Erklärungsgrund für die wechselnde Farbenpracht der Abenddämmerung festgehalten wissen will. Nur soll dieser überschüssige Dampf nicht von aussen hereingekommen, sondern von der Erde selbst geliefert worden sein.

d) **Die vulkanistische Hypothese.** Es ward seiner Zeit, als von der Verbreitung des vulkanischen Staubes in den höheren Luftschichten die Rede war, auf die ungemein grossen Entfernungen hingewiesen, welche diese leichten Staubmassen unter der Einwirkung günstiger Luftströmungen in überraschend kurzer Zeit zurückzulegen vermögen. Die Frage, ob in der That die durch den Ausbruch des Krakataua-Vulkanes im August 1883 der Luft einverleibten Staubtheilchen bis in die Antipodengegenden befördert werden und sich daselbst mehrere Monate schwebend erhalten konnten, ist damit freilich noch lange nicht als eine zu bejahende erkannt. Ein so gewiegter Meteorologe, wie Hann, ist sogar eher geneigt, dieselbe mit Nein zu beantworten [102], obwohl er die von v. Bezold hervorgehobenen Anomalieen — die schwefelgelbe Färbung der Atmosphäre, das weit beträchtlichere Volumen des ersten Purpurlichtes, das grüne Aussehen des Mondes — nicht in Ab-

rede stellt; Hann hält mit der Staubtheorie besonders den Umstand nicht für verträglich, dass die Dämmerungserscheinungen in beiden Hemisphären fast gleichzeitig auftraten, und dass ein fast halbjähriges Schweben auch leichtester Partikeln in der Luft zu den Unwahrscheinlichkeiten gehöre. Flammarion glaubt diesem Einwurf leicht — vielleicht wohl etwas zu leicht — begegnen zu können, indem er sagt [103]: „Comment se fait-il que ces particules soient restées en suspension pendant quatre mois dans l'atmosphère? . . . Parcequ'elles sont excessivement légères, aussi légères que l'air lui-même." Ganz unerlässlich erscheint es, die Frage so eingehend statistisch zu behandeln, wie diess durch Strachey in England und noch mehr durch Neumayer in Deutschland geschehen ist [104]. Denn durch diese Zusammenstellung unzähliger Berichte, die aus allen Weltgegenden einliefen, erhellt eben doch, dass die furchtbaren Zuckungen der Erdrinde auch die Atmosphäre in einer bis dahin kaum für möglich gehaltenen Art und Ausdehnung in Mitleidenschaft gezogen haben. Von besonderer Wichtigkeit erscheint uns der von Neumayer erbrachte Nachweis [105], dass damals nicht blos die der Sundastrasse benachbarten Länder, sondern weit grössere Erdregionen sich in einem ungewöhnlich heftigen seismisch-vulkanischen Erregungszustande befanden, dass zumal auch in Nordamerika Vulkanbildungen stattfanden, durch welche die Menge des atmosphärischen Vulkanstaubes noch vermehrt wurde. Da ferner auch (vgl. I. Bd., S. 351) geschichtliche Präcedenzfälle herangezogen werden können, um den Zusammenhang zwischen auffallenden Farbenerscheinungen der Atmosphäre und den Reaktionen des feurigen Erdinneren gegen seine starre Hülle als im Bereiche der Möglichkeit liegend nachzuweisen*), so scheint von dieser Seite her die vulkanistische Hypothese als eine der ernsthaftesten Beachtung würdige anerkannt werden zu müssen. — Nun ist freilich noch eine zweite rein optische Frage zu entscheiden: Wieso bringen denn Staubmengen, welche der Luft beigemischt sind, gerade jenes Farbenspiel zuwege, um dessen kausale Begreifung es sich handelt. Dieser Theil der Angelegenheit kann jedoch als durch die äusserst sorgfältigen Arbeiten Kiessling's [106] erledigt angesehen werden, durch welche das fragliche Farbenspiel auf eine grossartige Diffraktionserscheinung zurückgeführt ward. Derselbe experimentirte hauptsächlich mit einem Diffraktionsraum, der durch Ammoniakgas und schweflige Säure erfüllt war, so dass sich dichte, weisse Wolken eines aus kleinen Körnern von schwefelsaurem Ammoniak gebildeten Staubnebels zusammen-

---

*) Freundlicher Mittheilung von Herrn Prof. Sachau verdanken wir die ebenfalls hierher gehörige Angabe, dass die um 1040 n. Chr. abgefasste arabische Chronik des Jahjâ Ben Saîd folgende Stelle enthält: „In der Nacht des 7. April 989 donnerte und blitzte es in Kairo, und es tobte ein heftiger Sturm. Dieses Unwetter hielt an bis Mitternacht. Dann wurde es ganz finster in der Stadt, so finster, wie man nie erlebt, bis zum Anbruch des Morgens. Darauf erhob sich am Himmel etwas wie eine Feuersäule, welche Himmel und Erde mit kräftigem Roth übergoss. Zugleich verbreitete sich in der Luft eine Menge kohlenartigen Staubes, der das Athmen erschwerte. Dieser Zustand dauerte bis zur vierten Stunde des Tages. Die Sonne schien ihre Farbe verändert zu haben, und diese veränderte Farbe behielt sie bis zum 12. April 989." Die muhammedanische Jahr- und Tagbezeichnung ist im Texte bereits abgeändert. Ob hier wohl an einen Wüstenwind zu denken ist, der enorme Sandmassen in die Luft emportrieb?

ballten. Indem das Licht diesen Nebel durchlief, wurden seine Strahlen an den einzelnen massiven Kügelchen gebeugt, und es entstanden Diffraktionsfarben, welche jedoch, je nach dem verschiedenen Kondensationszustande des Nebels, in ihrer Aufeinanderfolge verschiedene Gesetze befolgten. Die erste Periode wies folgenden Farbenwechsel, auf: Blass-Lila, Blassblau-Violett, Leuchtend-Hellblau, Bläulich-Grün, Glänzend-Smaragdgrün, Gelblich-Grün, Grünlich-Gelb, Hell-Orange, Dunkel-Orange, Blass-Scharlachroth, Blass-Purpurroth. Die zweite Periode war minder abwechselungsreich: Blass-Purpur, Steingrau, Leuchtend-Olivengrün, Smaragdgrün, Gelblich-Grün, Bronzegelb, Orange. Die folgenden Perioden wichen von der zweiten nur insoferne ab, dass die Farbentöne sich stets schwächer und schwächer ausprägten, während gleichzeitig das Purpurlicht vorherrschte. Kiessling's Versuche schmiegen sich den anomalen Dämmerungserscheinungen des Spätjahres 1883 in der That sehr gut an, und es ist gewiss nicht zu gewagt, zu glauben, dass die in der Luft schwebenden Körnchen von Vulkansand — deren Existenz einmal zugegeben — ähnliche Beugungsfarben hervorbringen könnten. Kiessling selbst weist ihnen diese Rolle allerdings nur indirekt zu [107]: „Zur Entstehung intensiver Dämmerungsfarben ist ein äusserst feiner, gleichmässiger, aus Wasserkörperchen bestehender Nebel erforderlich. Die Bildung dieses Nebels setzt die Existenz eines feinen Staubes voraus.“ (Vgl. auch dessen Schrift „Nebelglühapparat“, Hamburg 1884.) Alles in Allem scheint die vulkanistische Hypothese durch optische Gründe wesentlich gestützt, durch Erwägungen allgemein-geophysikalischer Natur aber nicht ernstlich gefährdet zu sein. Und mit diesem Schlussfazit wenden wir uns einer anderen Gattung von Lichterscheinungen zu *).

§. 14. **Kimmung und Luftspiegelung.** Nicht sämmtliche Schichten jenes Theiles des Luftringes, welchen die von irdischen Objekten ausgesandten Strahlen zu durchlaufen haben, sind gleichmässig durchwärmt, und so kann es kommen, dass in Folge ungleicher Erwärmung eine Senkung oder Depression des Horizontes eintritt, grösser, als sie sich den im I. Bande, S. 136, angeführten geometrischen Gründen zufolge ergeben sollte. Nach Clausius [112] wird eine

*) Allerdings wäre über ungewöhnliche Farbenerscheinungen in der Atmosphäre noch Manches zu sagen, doch würde eine tief eingehende Erörterung uns zu weit führen. Erwähnt sei aber wenigstens die höchst eigenthümliche Beleuchtung, welche sich bei ganz oder nahezu totalen Sonnenfinsternissen zu zeigen pflegt, das Grün der Pflanzendecke in ein verschwommenes Braungelb verwandelt und nach den Berichten aller Beobachter — zuvörderst Simmler's [108], der auf dem Glärnisch beobachtete — der ganzen Natur ein geisterhaftes Aussehen giebt. Man scheint darin neuerdings ein Fluorescenzphänomen erblicken zu wollen. Ferner liegt auch der meteorologischen Optik die Pflicht ob, für die gefärbten Schatten eine passende Erklärung zu finden. Seit O. v. Guericke steht, wie Priestley angiebt [109], diese Frage zur Diskussion, Buffon, Mazeas, Bouguer, Beguelin haben sich mit ihr beschäftigt, allein auch durch Zschokke's ausführliche Arbeit [110] ist sie noch keineswegs völlig geklärt, obwohl durch letztere wenigstens Rumford's Behauptung widerlegt ward, dass hier eine rein subjektive Erscheinung vorliege. Aus Fournet's Untersuchungen geht hervor, dass der Himmel in drei verschiedene Zonen zerfällt: je nachdem das Licht aus einer derselben stammt, erscheint der Schatten mit verschiedenfarbigem Dämmerlicht umsäumt [111].

solche besonders auf offener See da bemerkt, wo warme Meeresströmungen, z. B. der Golfstrom, die Mitteltemperatur der umgebenden Luft erheblich steigen machen. Umgekehrt kann durch Abkühlung eine Erhebung des Horizontes — Kimmung — bewirkt werden. Ohne dass von einer Vergrösserung die Rede sein könnte, sah Latham am 26. Juli 1797 zu Hastings in Kent die sonst von der Erdkrümmung verdeckte französische Küste bei Dieppe ohne Teleskop [113]. Für J. Müller [114] war an den Gestaden des Bodensee's die Kimmung gar nichts Seltenes.

Die an der Meerenge von Messina mehrfach beobachteten Scheingestalten sind von Minasi [115] beschrieben und auf ihre natürliche Unterlage geprüft worden. Durch ihn ist das jetzt weitverbreitete und etwas zu unbegrenzt auf alle Hallucinationen optischer Natur übertragene Wort Fata Morgana Gemeingut der wissenschaftlichen Sprache aller Völker geworden. Gebäude, Menschen, Baumgruppen, Viehheerden u. s. w. erscheinen im Wasser oder in der Luft und nehmen fortwährend andere Gestalten an. Luftspiegelungen im engeren Sinne sind jedoch hievon unterschieden.

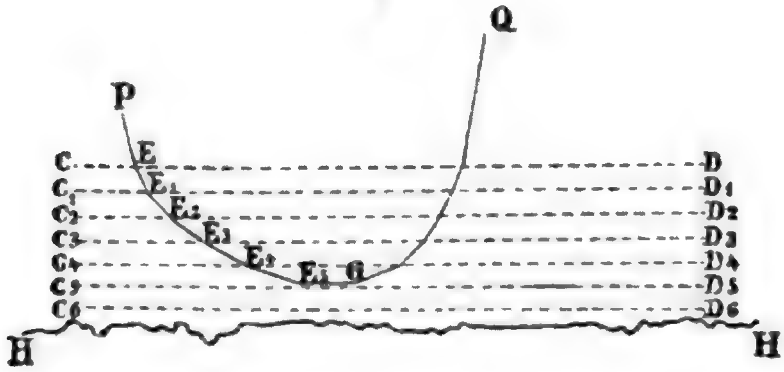
Ehe wir zur Theorie derselben übergehen, sei zunächst einiges Thatsächliche angeführt. Das sozusagen klassische Land der Luftspiegelung ist das untere Aegypten, eine grosse und weite, nur wenig mit zerstreuten Hügeln besetzte Ebene. Sobald nun Vormittags der Boden und die ihm benachbarten Luftschichten über einen gewissen Grad hinaus erwärmt sind, tritt anscheinend eine bis zum Horizonte reichende Ueberschwemmung ein, aus der die Dörfer, Palmhaine und Erhöhungen emporragen, während zugleich unterhalb deren Spiegelbilder zu sehen sind. In Nordafrika und Arabien sind diese unter dem Namen Serab bekannten Trugbilder eine landläufige Erscheinung, wie denn schon in der 24. Sure des Koran's die Worte vorkommen: „Der Ungläubigen Werke sind dem Serab in der Ebene gleich, der Durstende hält es für Wasser, bis er hinkommt und findet, dass es nichts ist.“ Auch in der provençalischen Crau, der „französischen Sahara“, wie Martins den wüsten Landstrich nennt [116], und im bayrischen Alpenvorlande kommen solche Doppelbilder zur Beobachtung*). Das Seegesicht (mirage) beruht auf ähnlichen Bedingungen; Schiffe und Küsten erscheinen verkehrt in der Luft schwebend. Zumal von Woltmann und Büsch sind Erfahrungen über diese abnorme Spiegelung gesammelt worden, und des Letzteren Beobachtungen [119] bieten des Merkwürdigen Viel. So ward derselbe, wie er selbst erzählt, einmal in dem Grade getäuscht, dass er von Ottersberg — zwei

*) Gruber erzählt [117], dass in der Nähe des Zirknitzer See's in Krain, wie auch in den weiten Ebenen des ungarischen Banates oft von einem entfernten Dorfe blos die Dächer, von einem Berge blos die Kuppe ohne Basis sichtbar sind, während alle anderen Gegenstände sich scheinbar in einer Wasserfläche spiegeln. Von einer ganz auffallenden und die gewöhnliche Kimmung mit der Luftspiegelung vereinigenden Wahrnehmung erstattet auch Billwiller Bericht [118]. Vom Freudenberge bei St. Gallen sah man das schon ziemlich tief in Württemberg (östlich von Ravensburg) gelegene Schloss Waldburg und noch dazu ziemlich stark vergrössert, während es für gewöhnlich von dort aus nicht sichtbar ist, so dass hier also die Erhebung des Horizontes (s. o.) zur That geworden war. Unmittelbar über dem reellen Bilde des Schlosses erkannte man aber mit Deutlichkeit das Spiegelbild desselben.

Meilen von Bremen entfernt — aus jene Stadt durch eine kolossale Ueberschwemmung der Weser bedroht glaubte, weil sie sichtlich hinter einer ausgedehnten Wasserfläche lag.

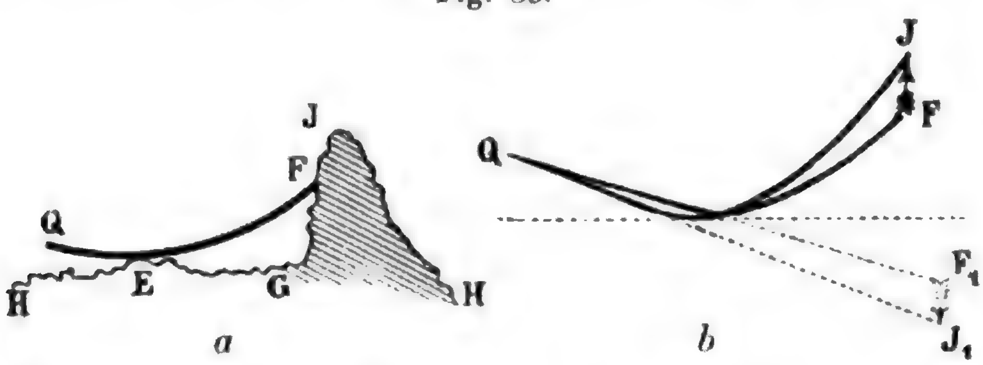
Monge [120] und in noch bestimmterer Art und Weise Biot [121] haben das Wesen des hier nur kurz skizzirten Erscheinungskomplexes dahin präcisirt, dass eher von einer ungewöhnlichen Brechung als von einer Spiegelung die Rede sein kann. HH (Fig. 34) sei

Fig. 34.



die Erdoberfläche, CD die obere Grenze einer Reihe von Luftschichten $C_1 D_1$, $C_2 D_2$..., deren Dichte mehr und mehr abnimmt. Der vom Objekt P kommende Strahl wird in E nach E_1, von hier nach E_2 gebrochen und verläuft schliesslich eine kurze Weile horizontal von E_5 bis G, bis er nachher wieder aufwärts gebrochen wird und zuletzt in Q das beobachtende Auge erreicht. In Wirklichkeit ist die gebrochene Linie PEQ selbstverständlich eine stetig gekrümmte. Grunert [122] hat die Gleichung derselben und zugleich für einen gegebenen Augpunkt diejenige der zugehörigen Grenzparabel aufgestellt; liegt das Auge diesseits dieser Kurve, so wird es von zwei der dem Licht aussendenden Punkte entströmenden Strahlen getroffen, liegt es auf der Kurve, nur noch von einem einzigen, liegt es jenseits derselben, von gar keinem mehr. Das Trugbild der Wasserfläche erklärt sich leicht durch folgende Betrachtung. Zu Ende der Strecke HH (Fig. 35 a) erhebe sich ein kleiner Berg, welchen die den Boden HH

Fig. 35.



in E berührende Lichtstrahlkurve in F treffen mag. Das Auge Q kann den Boden nicht weiter verfolgen, als bis zu dem Tangentialpunkte E, die zwischen E und dem Fusse G des Berges gelegenen Partieen bleiben für Q unsichtbar. Gleichwohl vermag man von Q aus E nicht für die Grenze des Gesichtskreises zu halten, da ja darüber noch der obere Theil FJ des Berges zu erkennen ist. In der Lücke zwischen E und FJ erblickt man aber auch noch das Spiegelbild $F_1 J_1$

von FJ, welches in der durch Fig. 35 b gekennzeichneten und wohl an sich verständlichen Weise zu Stande kommt. Das Auge kann also gar nicht anders, als annehmen, dass jenseits E eine spiegelnde, eine Wasserfläche sich ausdehne. Auf dem offenen Meere muss sich gleichfalls ganz unwillkürlich E als Grenze des Wassers darstellen. Die Luft ist (s. o. §. 2) in beständigem Erzittern, und so gelangen die Strahlen nicht immer in der nämlichen Richtung in das Auge, die Bilder schwanken hin und her, und durch diese Schwankungen wird der Eindruck noch erhöht, dass man einen leicht bewegten Wasserspiegel vor sich habe.

Hiebei ward vorausgesetzt, dass mit der Annäherung an den Boden die Erwärmung der Luftschichten zu-, deren Dichtigkeit also abnimmt; in letzterem Falle kommt Alles so, wie es beschrieben ward, allein das Verhältniss kann auch das entgegengesetzte sein, und dann tritt die von Vince [123] im Jahre 1798 beobachtete Spiegelung nach oben ein. Man sieht z. B. das verkehrte Bild eines Schiffes in der Luft schweben, und oberhalb desselben wieder das — selbst also aufrecht stehende — Spiegelbild des Spiegelbildes. Nach Scoresby [124] beobachtet man dergleichen besonders häufig in den Polarländern und zwar erscheinen die Bilder in sehr phantastischer Weise verzerrt — weil, wie Clausius bemerkt [125], die isotropen Flächen eine wellenförmige, oscillirende Gestalt besitzen. Spiegelungen nach der Seite treten ebensowenig häufig auf, wie laterale Refraktionen (s. o. §. 2), indem eine senkrechte Scheidefläche zweier Luftschichten von verschiedener Dichte zu den Seltenheiten gehört. Immerhin bildet J. Müller [126] einen ausgezeichneten Fall dieser Art ab, welcher sich nach Soret und Jurine auf dem Genfersee ereignete. Dieselben sahen nämlich neben einem zwei Meilen entfernten Schiffe dessen Spiegelbild hersegeln. Hier warfen die Berge ihren Schatten weit in den See hinaus, und in der Nähe des Ufers stand demnach eine kühle, dichte, weiter drinnen über dem Wasser aber eine von der Sonne erhitzte und stark aufgelockerte Luftbank.

§. 15. **Regenbogen.** Jenes schöne Lichtbild, welches selbst Kant (I. Band, S. 40) noch mit der Aufrichtung des alten Glaubensbundes in Verbindung bringen zu sollen wähnte, hat den Naturforschern von je einen anreizenden Stoff zur Erprobung ihres Scharfsinnes dargeboten. Die Geschichte der Regenbogentheorieen ist eine interessante und belehrende; ausser in den historischen Werken von Priestley und Wilde kann man sich über erstere besonders in den Abhandlungen von Reclam [127] und Gnau [128] orientiren. Dass Spiegelung die wichtigste, wo nicht einzige Bedingung dafür sei, dass sich ein Regenbogen am Himmel bilde, lehrte Aristoteles im zweiten Buche seiner „Meteorologie“ *). Die Ursache der Färbung verlegte Seneca [130]

---

*) Die geometrischen Einschiebsel, welche in der Darlegung des Aristoteles die physikalische Beweisführung unterbrechen, vermochten die Kommentatoren mit dieser letzteren niemals recht zusammenzureimen. In der That haben auch, wie Poske [129] gezeigt hat, beide gar nichts mit einander zu thun; Aristoteles beweist lediglich auf sehr umständlichem, nicht einmal strenge richtigem, ihm aber wahrscheinlich durch pythagoreische Traditionen vorgezeichnetem Wege den Satz, dass ein gerader Kreiskegel, dessen Spitze in der Peripherie der Basis

theils in die Sonne, theils in die Wolken: „Varietas non ob aliam causam est, quam quia pars coloris sole est sparsa, pars in nube illa.“ Dagegen gebührt dem vielverlästerten Mittelalter die Ehre, dass einer seiner Söhne, der Mönch Theodorich von Freiberg, in einem um 1310 geschriebenen und erst von Venturi herausgegebenen Schriftchen „De radialibus impressionibus et de iride“ auch die Lichtbrechung als einen wesentlichen Bestandtheil des das Entstehen eines Regenbogens bedingenden Vorganges nachwies [131]. Wieder einen Schritt weiter that J. Fleischer [132], indem er die Anzahl der Brechungen und Spiegelungen für den gewöhnlichen Regenbogen richtig festsetzte, während er freilich über den Ort der Zurückwerfung sich noch nichts weniger denn klar war. Antonio de Dominis betrat als der Erste den Weg des Experimentes; im dritten Kapitel seines Werkes [133] verfolgte er den Weg des Lichtstrahles durch eine mit Wasser gefüllte Glaskugel und gelangte so zu einer durchaus zutreffenden Anschauung für den ersten Regenbogen, während ihm die Erklärung des zweiten allerdings nicht gelingen wollte. Seine Darstellung mag als eines der belehrendsten Beispiele dafür gelten, wie exakt-physikalischer Sinn in jener Zeit noch mit aristotelischen Schulbegriffen im Streite lag *). Die jetzt noch als richtig anerkannte und auch schwerlich je wieder zu beseitigende Theorie des Regenbogens gab, soweit blos mathematische Fragen in Betracht kommen, Descartes in seiner Abhandlung über die Meteore, doch scheiterte er mit dem Versuche, auch die Farben und ihre Anordnung zu begreifen, und überliess das Verdienst einer nach jeder Seite hin zufriedenstellenden Erklärung des verwickelten Processes dem grossen Newton, der im zweiten Theile des ersten Buches seiner „Optice“ den Schlussstein einsetzte. Allerdings ist anzuerkennen, dass der Böhme Marek (Marcus Marci) und der Italiener Grimaldi die Analogie der Regenbogenfarben mit denjenigen, welche durch prismatische Brechung entstehen, schon vorher wahrgenommen hatten [135]; beachtenswerth ist auch Spinoza's „Stelkonstige Reeckening van den Regenboog“ (ed. Bierens de Haan, Leyden 1884).

Der Regenbogen (Iris oder — mythologisch — Thaumantias, Arcus coelestis, arc-en-ciel, rainbow) ist ein farbiger Kreisbogen, dessen Centrum demjenigen der Sonne diametral gegenüberliegt. Solange die Sonne hoch steht, muss dieser Kreisbogen, soweit er sichtbar ist, mithin kleiner als ein Halbkreis sein; wenn die Sonne gerade verschwindet, wird er ein genauer Halbkreis. Wenn die oberen Theile eine gewisse Abplattung zu zeigen scheinen, so ist an dieser Augentäuschung nur der in §. 1 dieses Kapitels berührte Umstand schuld, welcher uns auch das Himmelsgewölbe in einer von der Halbkugel abweichenden Gestalt vorführt [136]. Man unterscheidet den ersten und zweiten Regenbogen; letzterer erscheint meistens sehr abgeblasst und weist die Farben des Sonnenspektrums in einer Anordnung auf, welche der im ersten Regenbogen obwaltenden gerade

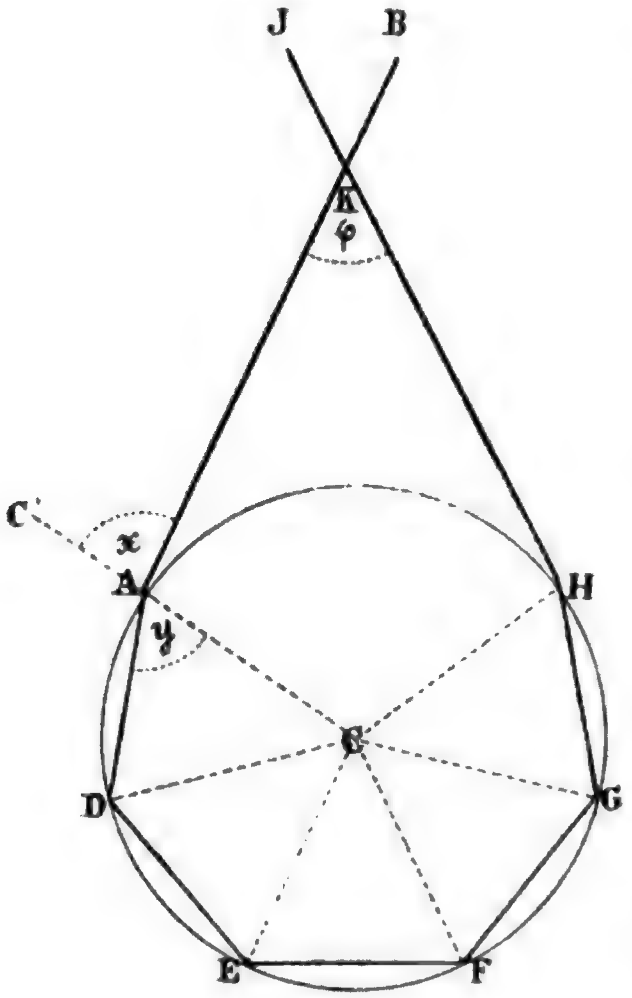
---

einer Halbkugel liegt, und dessen Axe durch den Mittelpunkt des Grundkreises hindurchgeht, aus der Halbkugel einen Halbkreis ausschneidet, dessen Ebene auf der Basisebene senkrecht steht.

*) „Ut iridis tota generatio prout fit in natura plene cognoscitur, eam nunc in materiam, formam, et figuram, ac colores placet resolvere.“ So beginnt Kapitel XIII [134].

entgegengesetzt ist. Es stelle nun C (Fig. 36) den Mittelpunkt eines Wasserbläschens vor, in welches bei A ein Lichtstrahl BA eintritt. Der Radius CA stellt das Einfallsloth dar, und der Strahl BA wird so gebrochen, dass er als gebrochener Strahl mit diesem Lothe einen Winkel y bildet, der mit dem Einfallswinkel BAC′ = x durch die Gleichung sin x = n sin y (n Brechungsexponent) zusammenhängt. Im Inneren der Kugel wird nun der bisher blos gebrochene Strahl mehrmals von der Innenseite reflektirt; unsere Figur stellt eine viermalige Spiegelung vor, so dass A D E F G H den Weg des Strahles angiebt. In H aber erleidet er wieder eine Brechung und tritt in der Richtung HJ aus. Damit wäre an sich die Erklärung des prismatischen Farbenbildes noch keineswegs gegeben; Newton aber erinnerte sich aus der von ihm selbst mitgeschaffenen Differentialrechnung der Wahrheit, dass die Aenderungsgeschwindigkeit jeder Funktion in der Umgebung von Maximal- und Minimalwerthen verschwindend klein ist, und diese allgemeine Thatsache spezifizirte er für den vorliegenden Fall. Diess lieferte ihm den Satz: Einen nennenswerthen Eindruck auf das Auge können die aus den in der Luft schwebenden Wasserkugeln austretenden Lichtstrahlen einer bestimmten Farbe nur dann hervorbringen, wenn nachher ein genügend grosser Bruchtheil eine parallele oder doch nahezu parallele Richtung beibehält, und damit diess geschehe, muss die Ablenkung, d. h. der von dem eintretenden mit dem austretenden Strahle gebildete Winkel, ein kleinster sein. Dieses Minimum gilt es nun theoretisch zu bestimmen.

Fig. 36.



Zieht man in Fig. 36 die Radien CD, CE, CF, CG, CH, so ist ersichtlich $\sphericalangle$ CAD = $\sphericalangle$ ADC = $\sphericalangle$ CDE = $\sphericalangle$ DEC = $\sphericalangle$ CEF = $\sphericalangle$ EFC = $\sphericalangle$ CFG = $\sphericalangle$ FGC = $\sphericalangle$ CGH = $\sphericalangle$ GHC = y, ferner ist $\sphericalangle$ BAC = $\sphericalangle$ JHC = $180^0 - x = \pi - x$. Der Ablenkungswinkel AKH = φ entsteht in dem Punkte K, in welchem BA und HJ sich durchschneiden. Im Siebeneck ADEFGHK ist die Winkelsumme $= (7 - 2)\,\pi$, es besteht also die Gleichung $\varphi + (7 - 2)\,2y + 2\,(\pi - x) = (7 - 2)\,\pi$. Die Zahl 7 ist um 3 grösser als die Anzahl 4 der vorgekommenen Spiegelungen; wenn wir also 7 durch (m + 3) ersetzen, so gilt ganz allgemein für einen Strahl, der innerhalb der Kugel m Zurückwerfungen erlitt, folgende Gleichung:

$$\varphi + 2\,(m + 1)\,y + 2\pi - 2x = (m + 1)\,\pi;$$

daraus berechnet sich

$$\varphi = (m - 1)\pi - 2(m + 1)y + 2x.$$

Diese Gleichung ist nun ebenso, wie die frühere, sin x = n sin y, sowohl nach x wie nach y zu differentiiren; man erhält also, da φ zu Null werden soll und $(m - 1)\pi$ eine Konstante vorstellt,

$$0 = -2(m + 1)dy + 2dx; \quad \cos x\,dx = n \cos y\,dy.$$

Eliminirt man den Differentialquotienten dy : dx, so hat man, für ein gegebenes m, zur Berechnung der ein günstiges Resultat gewährleistenden Winkel x und y die Relationen:

$$\sin x = n \sin y; \; (m + 1)\cos x = n \cos y.$$

Hieraus fliessen ohne jede Schwierigkeit die Werthe

$$\sin x = \sqrt{\frac{(m+1)^2 - n^2}{m(m+2)}}; \quad \sin y = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{(m+1)^2 - n^2}{m(m+2)}}.$$

Für rothe und violette Strahlen werde φ resp. durch die angehängten Indices r und v charakterisirt; setzt man dann mit Newton für erstere Strahlen $n = \frac{108}{81}$, für letztere $n = \frac{109}{81}$, so erhält man die folgenden Tabellen *):

m	x	y	φ_r	m	x	y	φ_v
1	59°23′28″	40°12′11″	137°58′12″	1	58°40′31″	39°24′18″	139°43′50″
2	71 49 55	45 26 52	230 58 38	2	71 26 9	44 47 7	234 9 36
3	76 50 16	46 54 41	318 23 4	3	76 33 20	46 16 57	322 51 4

Die Breite des Regenbogens wäre, wenn die Sonne für einen Punkt genommen werden könnte, durch die Differenz $(\varphi_r - \varphi_v)$ gegeben, da aber die Sonnenscheibe einen namhaften Durchmesser besitzt, so tritt auf jeder Seite noch eine Zone von circa 16 Bogenminuten Breite hinzu.

In dieser unserer Darlegung ist die erschöpfende Theorie des Regenbogens enthalten **). Es giebt somit, was Descartes noch bestritt [138], ebensoviele Regenbogen, als Spiegelungen möglich sind, also dem strengen Sinne nach unzählig viele. Da jedoch bei jeder Brechung und Zurückwerfung eine nicht ganz kleine Lichtmenge verloren geht, so ist erfahrungsgemäss schon der zweite Regenbogen bei weitem schwächer, als der erste, und für den dritten gilt diess in noch höherem Maasse. Man hegte deshalb allgemein die Ueberzeugung,

*) Diese übersichtliche tabellarische Zusammenstellung geben Heilermann und Diekmann [137].

**) Man könnte vielleicht verwundert sein, dass an diesem Orte die zum Inventar der Lehrbücher zu zählende Figur fehlt, welche die beiden Regenbogen in perspektivischer Darstellung vor das Auge stellt. Es mag dieses Diagramm wohl ganz instruktiv sein, aber jedenfalls entspricht es nicht dem natürlichen Sachverhalte. Jedermann vermag nur seine eigenen, nicht aber die Regenbogen seines Nachbars zu sehen, die Auffassung des optischen Bildes von der Seite her ist somit eine Unmöglichkeit. Ganz ebenso unmöglich ist es daher auch, einen Regenbogen zu photographiren; die best präparirte Platte, dem Farbenkreise entgegengehalten, bleibt neutral, da eben das menschliche Auge mit seinen verschiedenen Medien einen der für das Eintreten der Erscheinung unumgänglich erforderlichen Faktoren abgiebt.

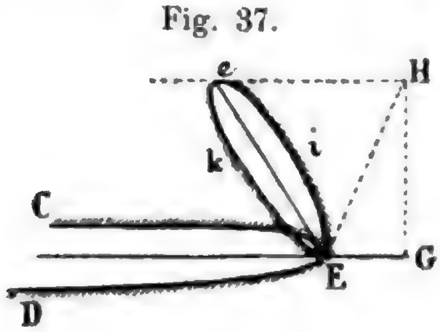
dass dieser dritte Regenbogen, seiner Lichtschwäche halber, dem menschlichen Auge dauernd entzogen bleiben müsse, und Radicke's Nachricht [139], dass der Schwede Bergman im vorigen Jahrhundert denselben zu Gesicht bekommen habe, wurde mit um so mehr Grund angezweifelt, als Bergman allerdings einen mit der Theorie nicht genau stimmenden Halbmesser dafür angegeben hatte. Neuerdings jedoch ist jeder Zweifel durch die Beobachtung Heilermann's, eines als Mathematiker und Physiker wohl angesehenen und Täuschungen nicht ausgesetzten Mannes, gehoben worden [140]; derselbe sah den dritten Regenbogen deutlich am 4. September 1878 auf der Fahrt von Köln nach Neuss, und damit ist Jakob Bernoulli endgültig widerlegt, der sich dahin äusserte, dass nicht schwache Menschenaugen, sondern höchstens die Augen von Luchsen und Adlern bis zu diesem Objekte durchzudringen vermögend seien. — Das Licht der Regenbogen ist, wie seiner Entstehung nach zu erwarten, polarisirt.

In einer ruhigen Wasserfläche kann man eventuell bis zu vier durch Spiegelung entstandene Regenbogen beobachten. Auch der Vollmond kann Regenbogen erzeugen, die aber natürlich minder hell leuchten, ja es kann das Phänomen überall da vor uns auftreten, wo sich kompakte Wassertropfen bilden, also bei Wasserfällen und Springbrunnen, sowie in dem von den Mühlrädern aufgewirbelten Wasserstaube. Selbst bethaute Wiesen bieten einen ganz geeigneten Untergrund. Allerdings erscheinen die bisherigen Kreise alsdann in irgendwelche Kegelschnitte verwandelt*).

Wenn All' das richtig ist, was in diesem Paragraphen über die Bildung des Regenbogens ausgesagt ward, so muss es möglich sein, einen solchen auch durch künstliche Hülfsmittel zu erzeugen. Aelterer Anregung von Seiten Babinet's folgend, hat Hammerl derartige Versuche in ziemlich grossem Umfange angestellt [142]. Sogenannte Stäuber lieferten ihm eine künstliche Regenwand. Nun ward mit einem Theodoliten zuerst die Sonne anvisirt, hierauf drehte man die horizontale Alhydade um 180° und richtete dann das Fernrohr auf den gelb gefärbten Theil des an der Wand hervorgebrachten Bogens, um die Richtung des abgelenkten Strahles zu erhalten. Die Differenz der Ablesungen ergab unmittelbar den Ablenkungswinkel (unser obiges φ). Wasser, Salmiaklösung, Weingeist, Petroleum und Terpentinöl wurden folgeweise geprüft, und es fand sich, dass die gemessenen und voraus-

*) Priestley's Erklarung dieser Abart von Regenbogen bezieht sich auf unsere Fig. 37 und lautet, wie folgt [141]: „Es erkläret sich die Entstehung dieses Bogens durch die Vergleichung mit dem gewöhnlichen Regenbogen keiE, der sich in den Regentropfen bildet, welche nicht weit von dem Auge des Zuschauers bei H in der Luft niederfallen, und der mit seinem unteren Theile die Erde in dem Scheitelpunkte E des horizontalen Regenbogens DEC berühret. Man verlängere den Kegel HiekE, so giebt dessen Durchschnitt mit der Horizontfläche die Figur des Bogens DEC. Hieraus folget, dass die Figur, nachdem der Winkel eHG, grosser, so gross, oder kleiner als ein Rechter ist, eine Hyperbel, eine Parabel oder eine Ellipse wird.“ Nach Priestley (a. a. O.) haben Langwith, Menzel und Jak. Bernoulli die Erscheinung des „horizontalen Regenbogens“ ganz im gleichen Sinne gedeutet.

Fig. 37.



berechneten Ablenkungswerthe recht leidlich unter einander übereinstimmten. Solche Flüssigkeiten freilich, wie Kupfervitriollösung u. dgl., in deren Spektrum gewisse Farben vollständig ausgelöscht erscheinen, konnten nur einen unvollkommenen oder einfach gefärbten Regenbogen liefern. Mit solchen weissen Regenbogen beschäftigte sich Bravais eingehender [143]. Dieses Phänomen zeigt sich nicht selten im Gebirge, wenn die Regenwand durch einen von der Sonne beschienenen Nebel ersetzt ist; dann erscheint ein weisser, am Rande röthlich angehauchter Kreis, dessen Radius aber kleiner ist, als der des gewöhnlichen Regenbogens. Nur ein Bruchtheil jener Strahlen, welche für gewöhnlich dazu beitragen, den Raum innerhalb des Bogens heller als den ausserhalb gelegenen erscheinen zu lassen, bewirkt die Entstehung eines Ringes, der nicht durch Farbenwechsel, sondern lediglich durch vermehrte Helligkeit von seinem Hintergrunde sich abhebt *).

§. 16. **Ueberzählige Regenbogen.** Langwith beobachtete dieses merkwürdige und jetzt noch umstrittene Accidenzphänomen zuerst am 21. August 1722 und lieferte auch gleich von demselben eine die wichtigsten Merkmale getreulich heraushebende Beschreibung [144]; Bouguer, Fouchy und Le Gentil folgten ihm nach und Pemberton machte sich als der Erste an eine theoretische Erklärung des Wahrgenommenen. Zuerst sprach man von ausserordentlichen Regenbogen, wogegen späterhin die Namen überzählige, sekundäre und komplementäre Bogen mehr in Aufnahme kamen. Darunter hat man Folgendes zu verstehen. Der gewöhnliche Regenbogen schliesst hie und da nicht mit dem Violett ab, sondern es erscheinen darüber hinaus noch weitere Farbenstreifen mit verschiedenen Anordnungen der einzelnen Bestandtheile. Bravais vermochte einmal einen solchen Komplementarbogen bis zum Horizonte hinab zu verfolgen [145]. Es ist wohl soviel unzweifelhaft, dass jene sekundären Lichtstrahlen, die sich ausser den primären — wenn auch auf noch nicht völlig aufgeklärte Weise — bilden, allein noch nicht hinreichen, um die Erscheinung eines überzähligen Bogens zu veranlassen, vielmehr sind hiezu noch zweierlei Vorbedingungen erforderlich. Die Tropfen müssen nämlich erstlich sehr klein sein, denn je grösser sie sind, um so näher liegen die sekundären Lichtstellen unter sich und mit den primären zusammen, und zweitens müssen auch die Tropfen ziemlich von gleicher Grösse sein, weil sonst die sekundären Lichtstellen nicht durch scharfe Abstände von einander getrennt sind, sondern ganz allmählig in einander übergehen. Die eigentliche Theorie aber hat sich mit vier verschiedenen Ansichten über die Entstehung dieser sekundären Bogen abzufinden.

a) **Die Hypothese von Hellwag.** Dieser zufolge befände sich die Oberfläche der die Hauptregenbogen erzeugenden Wasserkugeln in beständiger, oscillirender Bewegung, und dadurch entstünden die über-

*) Bezeichnet man den äusseren Halbmesser eines Wasserbläschens mit r, seinen inneren mit ρ, so dass $(r - \rho)$ die Dicke der Tropfenwand darstellt, so ist nach Bravais (a. a. O.) die Entstehung eines weissen Regenbogens daran gebunden, dass die Ungleichungen

$$1{,}38\,\rho < r < 1{,}55\,\rho$$

zu Recht bestehen.

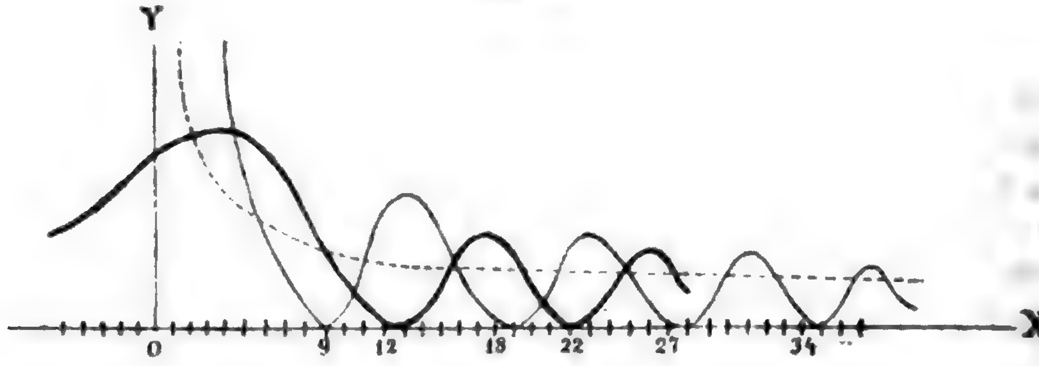
zähligen Bogen [146]. Wie würde sich aber dann der meist ruhig matte Schimmer des Farbenbildes erklären lassen?

b) **Die Hypothese von Venturi.** Der italienische Physiker nimmt an [147], die Wassertropfen seien sämmtlich abgeplattet, mehr breit als hoch, und wenn die Axendifferenz bei einer Serie von Tropfen einen gewissen Grad überschritten hätte, so würde dadurch ein zweiter, niedrigerer Farbenbogen gebildet. Mit Recht wendet Brandes ein [148], dass es dann an Uebergängen zwischen Haupt- und Komplementarbogen nicht fehlen könne. Immerhin meint aber doch auch Brandes, dass sich eine ausreichende Theorie des Phänomens darauf begründen lasse, dass man zuvor den Gang eines Lichtstrahlenbündels durch ein durchsichtiges Ellipsoid sorgsam verfolge, denn dass die Tropfen, als im Fallen begriffen, unter dem Einflusse des Luftwiderstandes eine ellipsoidische Form annähmen, müsse nach den hierauf abzielenden Untersuchungen von Scholz [149] als wahrscheinlich zugegeben werden. Auch Grunert tritt dieser letzteren Voraussetzung rechnerisch näher [150].

c) **Die Hypothese von Brandes.** Die sekundären Regenbogen werden in Parallele gesetzt zu jenen Höfen, die oft bei dünnem Wolkenschleier die Sonne umgeben [151]. Wir werden dieselben im nächsten Paragraphen als eine Beugungserscheinung kennen lernen.

d) **Die Hypothese von Airy.** Einer Meinungsäusserung Thomas Young's weiter nachgehend, führte Airy unser Phänomen auf die Interferenz der Lichtstrahlen zurück [152]. Oben ward für das Entstehen des gewöhnlichen Regenbogens ein Maximalwinkel φ berechnet, andere Zwischenstrahlen liefern bei'm Durchkreuzen einen kleineren Ablenkungswinkel. Fassen wir einen Punkt der Regenwand in's Auge, welcher solch' einem kleineren Winkel φ entspricht, so erhalten wir zwei verschiedene Gruppen von Strahlen, welche innerhalb eines Tropfens verschiedene Wege zurücklegen und in Folge dessen auch interferiren müssen. Denken wir uns weiter φ von seinem grössten Werthe ab sich stetig verkleinernd, so wird für beide Gruppen der Wegunterschied immer grösser, es tritt also abwechselnd gegenseitige Verstärkung und Schwächung ein. Airy macht diess durch die graphische Darstellung der Fig. 38 klar, in welcher der Nullpunkt (0)

Fig. 38.



des rechtwinkligen Koordinatensystemes dem Maximalwerthe von φ für eine bestimmte Farbe entspricht; nach links wird die Zunahme, nach rechts die Abnahme von φ gerechnet. Die punktirte Kurve stellt die Abnahme nach der gewöhnlichen Theorie dar, sie hat beide Axen zu

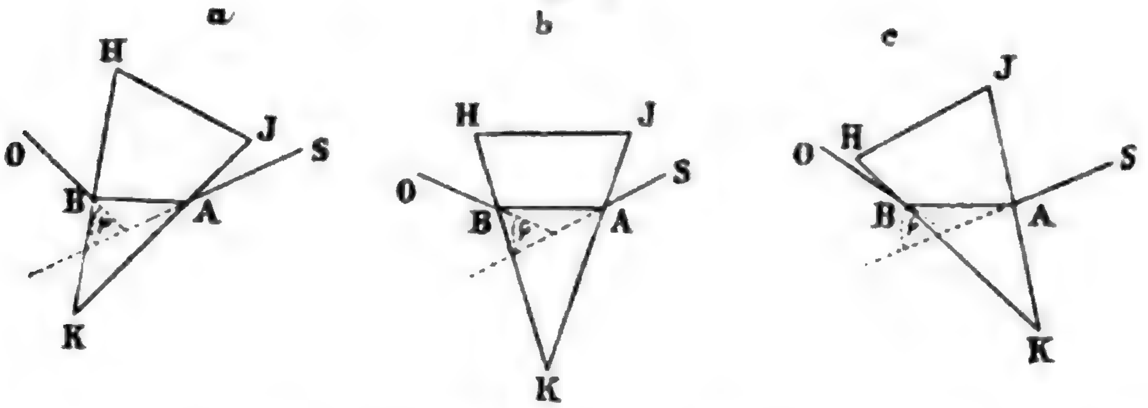
Asymptoten, so dass also dem 0-Punkt eigentlich eine unendliche Farbenintensität zur Seite stünde. Die schwächer ausgezogene Kurve drückt die Lichtintensität im Sinne der Young'schen Hypothese aus, sie bietet für die Ordinaten relative — wennschon dem Absolutwerthe nach stetig sinkende — Maxima; jenen Punkten kann man mit einigem Rechte den von uns bereits oben gebrauchten — weil an sich verständlichen — Namen sekundäre Lichtstellen beilegen. Airy zeigt aber, dass Young zwar qualitativ das Richtige erkannte, deshalb aber, weil bei ihm die Vorstellung longitudinaler Lichtschwingungen noch die Oberhand gegenüber der richtigen Vorstellung transversaler Schwingungen behauptete, die sekundären Lichtstellen an unrichtige Plätze verlegte; Airy selber zeichnet den Verlauf so, wie es in unserer Figur die stark ausgezeichnete krumme Linie angiebt. Miller [153] und Galle [154] haben durch ihre Messungen zu Gunsten der Airy-schen Auffassung den Ausschlag gegeben, doch bedarf noch Manches weiterer Aufhellung.

§. 17. **Höfe.** Die Darstellung dieses Paragraphen ist derjenigen von Clausius [155] nachgebildet. Höfe nennt man gemeiniglich Lichtkreise, welche die Sonne und den Mond umgeben*); es ist wahrscheinlich, dass die Entstehungsweise derselben keine ganz gleichartige ist, sondern dass dieselben, wenn ihr diffuses Licht gar keine Farbenerscheinung erkennen lässt, sich an den in der Luft schwebenden Eiskrystallen bildet, dass dagegen, wenn schwache farbige Ringe von 1° bis 6° sphärischem Radius auftreten, dünne Bläschen die Träger der Erscheinung sind. Von letzterer sprechen wir zunächst nicht, sondern allein von den grossen Höfen. Aristoteles, von dem auch das griechische Wort ἅλως in die Literatur eingeführt ward, gieng auch in diesem Falle, wie bei'm Regenbogen, von dem aus, was er Lichtbrechung nannte, was aber eigentlich Rückwerfung des Lichtes ist [156]. Die Eisnadeltheorie ward von Cartesius und Mariotte begründet, von Fraunhofer [157], Galle [158] und Bravais [159] weiter ausgeführt. Was die Krystallform anlangt, so können wir nur vermuthen (s. o. Kapitel I, §. 3), dass vorwiegend drei- oder sechsseitige gerade Prismen in den oberen Schichten der Luft (Cirruswolken) vorhanden sein werden. Zunächst sei angenommen, dass die Axenrichtung all' dieser Prismen eine und dieselbe, und zwar eine zu der Axenrichtung des ankommenden Lichtstrahlenbündels senkrechte sei. Fig. 39, a, b und c stellt uns drei Normalquerschnitte eines derartigen Prisma's in verschiedenen Lagen vor Augen. HJK ist stets der Querschnitt, SABO der von der Sonne kommende und durch das Prisma hindurch gebrochene Strahl, φ der Ablenkungswinkel. Man erkennt, dass φ in a und c grösser ist, als in b. Wenn die Axen nicht normal auf der Strahlenrichtung stehen, so wird φ vergrössert, so dass also das normal darauf stehende Prisma, wenn es die in b markirte Stellung im Raume inne hat, durch ein absolutes Minimum der Ablenkung ausgezeichnet ist. Dann muss sonach ganz Aehnliches sich ergeben, wie bei'm Regenbogen: Wirken sehr viele Prismen zugleich und ganz in dem nämlichen Sinne, so werden nach der dem

*) Auch um die Planeten herum zeigen sich in selteneren Fällen Höfe.

Ablenkungsminimum entsprechenden Richtung hin besonders viele Strahlen gebrochen, es werden von jenen Stellen des Himmels, deren Abstand vom leuchtenden Körper den Minimalbetrag hat, besonders viele Strahlen zum Auge gelangen, von den entfernteren weniger und, wenn eine gewisse Grenze erreicht ist, gar keine mehr.

Fig. 39.



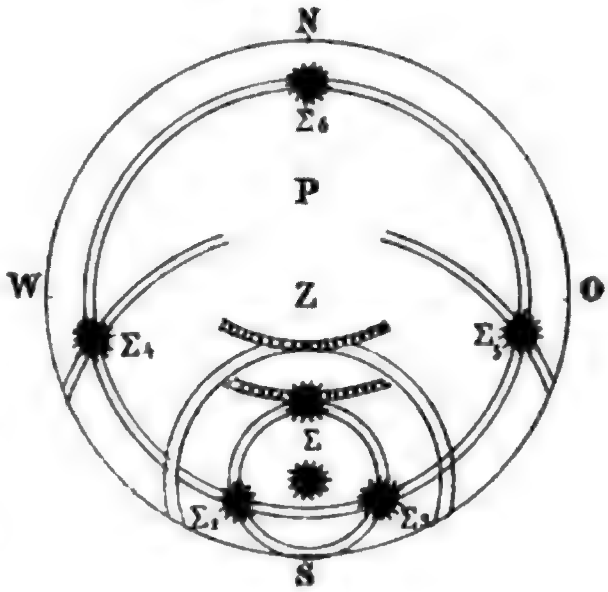
Wenn nun weiter die Eisprismen ziemlich gleichmässig in allen möglichen Axenlagen vorkommen, so wird die Helligkeit des Ringes eine gleichmässige sein, wenn dem aber nicht so ist, so treten verwickelte Erscheinungen auf, deren Gesammtheit wir als die kleinen Höfe — wir würden lieber sagen, die fragmentarischen Höfe — zu bezeichnen haben, deren Nomenklatur aber sonst, eben ihres ausgeprägten individualistischen Charakters halber, eine ziemlich wechselnde ist. Diesen ist der folgende Paragraph gewidmet.

§. 18. **Ringe, Kränze, Nebensonnen und Nebenmonde.** In der Erwägung, dass die Eigenthümlichkeiten von Naturvorgängen dann am klarsten zum Bewusstsein kommen, wenn ihre Beschreibung an besonders ausgezeichnete Fälle der Erscheinung anknüpft, geben wir eine Schilderung solcher merkwürdiger Fälle im unmittelbaren Anschlusse an die Spezialarbeit von Kuhse [160]. Besonders bekannt sind das Römische, das Danziger und das Petersburger Phänomen. Das erstere beobachtete Scheiner im Jahre 1629; die verstümmelt auf uns gekommenen Berichte lassen muthmassen, dass um die Sonne sich mehrere eigenthümlich geformte Nebensonnen herumgelegt hatten. Genaueres berichtet Hevelius; er sah am 30. März 1660 merkwürdige Nebenmonde, am 6. April und am 17. Dezember desselben Jahres ebensolche Nebensonnen, und endlich am 20. Februar (durchgängig alten Styles) 1661 nicht weniger als sieben Sonnen auf einmal [161]. Einmal gieng durch den Mond ein grosses silberfarbenes Kreuz hindurch, wie nach des Eusebius „Vita Constantini" ein solches sich einmal auch unter der Regierung dieses Kaisers am Himmel gezeigt haben soll *). Am 6. September 1661 will Hevel (a. a. O.) zwei Stücke von Regenbogen bemerkt haben, welche kreuzförmig in einander griffen; in ihrem Durchschnittspunkte, gerade der Sonne

*) Der Wortlaut ist: „Ἀμφὶ μεσημβρινὰς ἡλίου ὥρας ἤδη τῆς ἡμέρας ἀποκλινούσης, αὐτοῖς ὀφθαλμοῖς ἰδεῖν ἔφη ἐν αὐτῷ οὐρανῷ ὑπερκείμενον τοῦ ἡλίου σταυροῦ τρόπαιον, ἐκ φωτὸς συνιστάμενον, γραφήν τε αὐτῷ συνῆφθαι, λέγουσαν, τούτῳ νίκα. . ." (Vor der Schlacht an der milvischen Brücke.)

gegenüber, erschien in einem prismatisch gefärbten Kranze eine unächte Sonne. In St. Petersburg ward mehrfach — so im Jahre 1758 nicht weniger denn viermal — ein Ring beobachtet, der sich als Ellipse um den inneren kreisrunden Ring herumlegte und ihn tangirte [162]. Das Non plus ultra all' dieser Ausnahme-Meteore bildet aber das im engeren Wortsinne so heissende Petersburger Phänomen, von welchem der jüngere Lowitz eine Beschreibung hinterlassen hat [163]. In Fig. 40 sehen wir dasselbe vor uns: der äussere Kreis ist der durch seine vier Kardinalpunkte, N, O, S, W charakterisirte Horizont, Z ist das Zenit, P der Nordpol der Ekliptik, Σ der wirkliche Ort der (gerade kulminirenden) Sonne. Ausserdem aber sind die scheinbaren Sonnen Σ_1, Σ_2, Σ_3, Σ_4, Σ_5, Σ_6 erschienen. Die in der Figur nicht ausgefüllten Kreisringe erschienen auch in der Natur nur mit weissem Glanze, die in der Figur schraffirten waren farbig. Aepinus (a. a. O.) rechnet noch hierher ein von Huygens, ein von D. Cassini und ein von Newton gesehenes und in der „Optice" beschriebenes Phänomen, bei welch' letzterem die Hauptaxe der sphärischen Lichtellipse senkrecht auf dem Horizonte stand.

Fig. 40.



Der innerste Hof und der Horizontalkreis sind nach Kuhse [164] die am häufigsten vorkommenden Bestandtheile dieses verwickelten Komplexes von Lichterscheinungen. Nebensonnen und Nebenmonde sind an sich weniger häufig, doch soll Wales in der Gegend der Hudsonsbay mehrmals Nebensonnen gesehen haben, welche die Sonne einen ganzen Tag begleiteten, und Plinius, dessen Glaubwürdigkeit in Bezug auf Beobachtungsthatsachen man vielfach unterschätzt hat, sagt aus [165]: „Et rursus plures soles simul cernuntur, nec supra ipsum, nec infra, sed ex obliquo: nunquam juxta, sed contra terram: nec noctu: sed aut oriente, aut occidente. Semel et meridie conspecti in Bosphoro produntur, qui a matutino tempore duraverant in occasum." Bis zu einem gewissen Grade vermag nun unsere Eisnadeltheorie dem Allen gerecht zu werden, obwohl selbstredend so aussergewöhnliche Gebilde, wie das zu St. Petersburg wahrgenommene, jedweder Erklärung spotten. Die erhöhte Helle einzelner Stellen und die bogenförmigen Ansätze werden durch die Ueberlegung wohl begreiflich, dass bestimmte Axenrichtungen unter der Vielzahl von Eisprismen vorherrschen. Wenn die senkrechten Richtungen, wie unsere Erfahrungen über den Luftwiderstand annehmen lassen, vorwiegen, so müssen zwei Stellen rechts und links von der Sonne heller erscheinen, als der übrige Ring; damit ist eben die Bildung von Nebensonnen und Nebenmonden (παρήλιος, παρασηλήνη) eingeleitet, und wenn sämmtliche Axen senkrecht stehen, so verschwindet der Ring gänzlich. Liegen andererseits die Axen allesammt nahe parallel dem Horizonte, so müssen an Stelle der vorigen Lichtflecke zwei ausgedehnte Lichtbogen ent-

stehen *). Ein anderer mehrfach beobachteter Lichtkreis hat gewöhnlich einen sphärischen Halbmesser von 47°; diese Winkelgrösse entspricht ebenso als Maximalablenkung einem brechenden Winkel von 90°, wie der regelmässige Winkelabstand von 23° als Maximalbetrag der Ablenkung zu einem brechenden Winkel von 60° gehört. Dieser brechende Winkel ist aber kein anderer, als jener, den Seiten- und Grundfläche des Prisma's mit einander bilden. Der weisse Horizontalkreis, der selten zu fehlen pflegt, ist nach Clausius und Galle durch Reflexion entstanden; insoferne einige der Nebensonnen gewöhnlich in ihm zu finden sind, nennt man ihn auch wohl Nebensonnenkreis. Auch für das weisse Kreuz des Hevelius würde, so meint Galle (a. a. O.), die Annahme einer zweifachen Reflexion — einmal an der unteren, einmal an der oberen Polygonfläche des Prisma's — zur Erklärung hinreichen. —

Ringe, Kreise und Nebensonnen versteht also, wie wir sahen, schon derjenige Zweig der Optik ausreichend zu erklären, welche man häufig die geometrische nennt, bei welcher auf die besondere Art der Lichtfortpflanzung keinerlei Rücksicht zu nehmen ist. Nicht also ist es mit den Kränzen oder kleinen Höfen bestellt, welche nicht blos als dünne Lichtstreifen in grösserer Entfernung von dem Leuchtkörper auftreten, sondern sich dicht um denselben herumlegen, zu ihrer Erscheinung als Substrates auch weit weniger der Cirrus-, als vielmehr der Cumulus- und Stratuswolken bedürfen. Schon damit ist als wahrscheinlich ausgesprochen, dass, da Eisnadeln überhaupt nicht vorhanden sind, die Erklärung der Kränze auf eine andere Gruppe optischer Wahrheiten zurückgeführt werden muss. Dass verschiedene Wolkenbildungen auch zur Entstehung von Höfen sehr verschiedener Art Veranlassung geben, stellte Kämtz fest [166]. Welchen Weg man bei'm Studium dieser Erscheinung einzuschlagen habe, darüber belehrt den mit den Grundsätzen der modernen oder physikalischen Optik Vertrauten schon der Anblick der Erscheinung. „Diese Höfe," sagt J. Müller [167], „haben die grösste Aehnlichkeit mit der Aureole, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe ebenso, wie dieses Phänomen, zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen." Für gewöhnlich scheinen, wie Clausius erwähnt [168], die Kränze den Mond häufiger zu umgeben, als die Sonne, doch lassen sie sich an der Sonne nicht selten konstatiren, wenn zur Ablenkung der störenden Strahlen der Kämtz'sche Spiegel mit geschwärzter Rückseite angewendet wird [169]. Newton sah im Jahre 1692 drei derartige Ringe um die Sonne, die ein lebhaftes Farbenspiel in nachstehender Anordnung erkennen liessen: Blassblau, Weiss, Roth; Purpur, Blau, Grün, Blassgelb, Roth; Blassblau, Roth. In der bereits citirten denkwürdigen Abhandlung Fraunhofer's werden diese Farbenringe

*) Clausius meint, dass der fragliche Axenparallelismus an sich gerade nicht sehr wahrscheinlich sei, man müsste denn mit Babinet annehmen wollen, dass die Krystalle eigentlich nur ganz dünne Eistafeln seien, welche vom Luftwiderstande ganz horizontal eingestellt würden. Galle hat im Widerspruche hiezu die Vermuthung ausgesprochen, dass den Säulchen an ihren Enden je eine sechs- oder dreiseitige gerade Pyramide von 60° Flächenneigung aufgesetzt sein müsse.

durch die damals noch wenig gekannte und damals eben erst von Th. Young und Arago mit der Undulationstheorie in Verbindung gebrachte Lichtbeugung erklärt. Der Vorgang ist im Wesentlichen der, den wir oben (s. §. 13) bei der aussergewöhnlichen Dämmerung kennen gelernt haben.

Wenn sich zwischen dem Beobachter und dem Licht spendenden Punkte viele kleine Körperchen befinden, so kann jeder Punkt eines solchen als Spitze eines Kegels gebeugter Lichtstrahlen angesehen werden. Auf einer entgegenstehenden Wand würden sich dann also im einfarbigen Lichte abwechselnd helle und dunkle, im weissen Lichte aber farbige Strahlen bilden müssen. In der Atmosphäre schweben aber, wie bekannt, Dampfbläschen genug, um solche Beugungskegel zu bilden, und eine weiter entfernte konsistentere Bläschenwand erscheint mit Farbenringen versehen. Die Grösse der Nebelbläschen lässt sich theoretisch berechnen, wenn man für eine bestimmte Farbe den Radius des Lichtkranzes — sei es durch Anwendung des Spiegelsextanten, sei es mit Hülfe des von Hagenbach-Bischoff angegebenen Stecknadelinstrumentes — gemessen hat [170], und zwar ist das hiezu dienliche Verfahren ein ganz ähnliches, wie jenes, welches dem um die Fortbildung der Beugungstheorie hochverdienten Schwerd dazu gedient hat, aus den Farbenbildern des durch eine Vogelfeder gebeugten Lichtes deren Kielentfernungen zu bestimmen [171]. Die Ringe werden um so enger, je grösser die Dunstbläschen sind, und so hat sich denn durch Messungen von J. L. Jordan und Kämtz herausgestellt, dass die Verschiedenheiten der Durchmesser dieser Bläschen nach den Tages- und Jahreszeiten sehr wohl noch diesseits der für uns erreichbaren Messungs- und Berechnungsgrenze fallen.

§. 19. **Irdische Nebelbilder.** Dreierlei Klassen von Erscheinungen, welche bei mancher individuellen Verschiedenheit doch immer ein Gepräge der Gemeinsamkeit an sich tragen, suchen wir in diesem Paragraphen zusammenzufassen.

a) **Die Zirkel Ulloa's.** So nennt man — nach dem uns bereits bekannten spanischen Naturforscher (vgl. I. Band, S. 143) — in den Cordilleren Südamerika's gewisse Farbenringe, welche unter scheinbar gerade entgegengesetzten Bedingungen wie diejenigen auftreten, von welchen oben die Rede war. Sie treten nämlich dann auf, wenn der Beobachter die Sonne im Rücken und die Nebelwand vor sich hat. Jeder Beobachter sieht nur den gefärbten Schatten seines eigenen Kopfes, nicht jedoch denjenigen seines Begleiters. Bouguer und Scoresby haben zahlreiche Beobachtungen in diesem Sinne mitgetheilt [172]. Das Phänomen unterscheidet sich von dem gleich jetzt zu besprechenden blos dadurch, dass die den Kopf umgebende Aureole gefärbt ist; wir geben also die Erklärung auch erst nachher.

b) **Das Brockengespenst.** Der Name dieser Gattung von Nebelbildern rührt her von Silberschlag, welcher in seiner interessanten geophysikalischen Schilderung des Brockenberges Folgendes berichtet [173]: „Etwa 14 Tage nach Michaelis, bei einem prächtigen Untergange der Sonne, den ich auf dem Brocken genoss, zeigte sich, als die Sonne unter den Horizont hinabzusinken anfieng, nach Osten hin plötzlich der Schattenriss des Brockens, viermal grösser, als der

Berg selbst ist, in der Gegend von Halberstadt schwebend. Alles stand so deutlich im Nebel abgezeichnet vor Augen, dass man das Haus, die Anwesenden und jede ihrer Bewegungen genau unterscheiden konnte." Eine objektive Zeichnung, wie sie die meisten Lehrbücher geben, ist aus dem gleichen Grunde nicht herzustellen, aus welchem auch die perspektivische Wiedergabe des Regenbogens zu den Unmöglichkeiten gehört. Fraunhofer führte, wie wir schon wissen, die Höfe auf Diffraktion des Lichtes zurück, und ein Gleiches that er auch mit diesen Schattenbildern, doch bedurfte seine Darlegung noch einer wichtigen Ergänzung, indem er den Gang der Strahlen blos für solide Wasserkugeln, nicht aber auch für dünne Dunstbläschen untersuchte. Clausius [174] lieferte diesen Nachtrag. Die senkrechte Reflexion an den Bläschen ist besonders stark, so dass man erwarten müsste, auf der der Sonne unmittelbar gegenüber liegenden Wolkenpartie einen besonders ausgezeichneten Fleck zu erblicken. Derselbe wird aber durch den Kopfschatten verdeckt. Die vordersten Bläschen der Wolke bewirken eine Lichtbeugung, das gebeugte Licht wird zurückgeworfen, und dann tritt wieder Diffraktion ein. Beide Beugungen vor und nach der Reflexion erwecken neben dem in's Gigantische gesteigerten und vergrösserten Schatten des Beobachtenden den Eindruck von — entweder schwarzen und weissen oder auch gefärbten — Ringen. „Die riesenhafte Grösse, in welcher das Schattenbild gewöhnlich erscheint, beruht" — nach Lommel [175] — „auf einer unbewussten Gesichtstäuschung."

c) **Der Heiligenschein.** Auf bethauten Wiesen erscheint der Kopfschatten hie und da von koncentrischen Ringen umgeben, welche in den prismatischen Farben spielen. Thauperlen zeigen diesen Heiligenschein besser, als die an den Pflanzen haftenden Regentropfen [176]. Allerdings bedarf es nicht immer der Wasserkügelchen, vielmehr tritt der Lichtschein auch wohl auf trockenem, unebenem Erdboden auf, und v. Winterfeld gab für diesen Fall auch bereits die richtige Erklärung [177], indem er eine Kontrastwirkung darin sah. Den Lichtschein auf bethauter Unterlage vermochten weder v. Winterfeld noch Brandes (in seinem Lexikon-Artikel „Hof") [178] ausreichend zu erklären; Lommel zufolge [179] „besteht der helle Schein aus dem Lichte, welches durch die Tropfen gebrochen, von deren Unterlage aufgefangen wird und nun durch die Tropfen hindurch wieder gegen die Lichtquelle zurückkehrt". Es fand sonach eine viermalige Brechung und eine einmalige diffuse Reflexion statt*). Ganz analog verhält es sich mit dem Augenleuchten mancher Thiere, z. B. der Katzen. —

Zum Schlusse bemerken wir noch, dass wir als atmosphärisch-optische Gebilde gewisse in mittelalterlichen Flugschriften und Sammelwerken — z. B. bei Lykosthenes — verzeichnete Himmelserscheinungen in Anspruch nehmen, welche Flammarion [180] mit den Kometen in Verbindung bringen wollte.

*) Verf. dieses sah die Erscheinung nur Einmal in seinem Leben, nämlich bei Besteigung des Fellhorns im bayrisch-tyrolischen Grenzgebirge, diessmal aber auch in so ausserordentlicher Klarheit und Schönheit, wie er es nach den Beschreibungen kaum zu erwarten gewagt hätte. Sehr niedriger Sonnenstand, eine neblige Beschaffenheit der Luft und jene Art des Pflanzenwuchses, wie sie ein Kleeacker darbietet, scheinen sonach als günstige Nebenumstände mitzuwirken.

[1] Treiber. De figura et colore coeli apparentis. Jenae 1668. — [2] R. Smith. Lehrbegriff der Optik, deutsch von Kästner. Altenburg 1755. S. 57. — [3] Weyer. Zeit- und Ortsbestimmung. Allgem. Encyklop. d. Physik, 1. Band, Leipzig 1869. S. 685 ff. — [4] Bruhns. Die astronomische Strahlenbrechung in ihrer historischen Entwickelung. Leipzig 1861. — [5] R. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877. S. 152. — [6] G. Vossius, De universae matheseos natura et constitutione liber, Amstelodami 1650. S. 185. — [7] R. Wolf, Gesch. etc., S. 376. — [8] Ibid. S. 601. — [9] Kramer. Descartes und das Brechungsgesetz des Lichtes, Abhandl. z. Gesch. d. Mathem., 4. Heft. Leipzig 1882. — [10] Grunert, Ueber die atmospärische, vorzüglich die terrestrische Refraktion und über Refraktionskurven im Allgemeinen. Arch. d. Math. u. Phys., 10. Theil. S. 12. — [11] Laplace, Traité de mécanique céleste, tome IV., Paris 1805. S. 246. — [12] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, 2. Band. Stuttgart 1879. S. 299. — [13] Kramp, Analyse des refractions astronomiques et terrestres, Strasbourg 1798. — [14] v. Bauernfeind. Die atmospärische Strahlenbrechung auf Grund einer neuen Aufstellung über die physikalische Konstitution der Atmosphäre, Astr. Nachr., Nr. 1478—1480. Nr. 1587—1590. — [15] Simpson, Mathematical dissertations. London 1743. S. 46 ff. — [16] Lalande. Astronomie. tome II., Paris 1792. S. 531. — [17] Hennert, Ueber die astronomische Strahlenbrechung, (Hindenburg's) Arch. d. reinen u. angew. Mathem., 2. Band. S. 4. — [18] Weyer, Zeit- und Ortsbestimm., S. 666. — [19] v. Bauernfeind. Ergebnisse aus Beobachtungen der terrestrischen Refraktion. München 1880. — [20] Huygens. Traité de la lumière, Leyde 1691. Kap. IV. — [21] Birnbaum, Grundzüge der astronomischen Geographie, Leipzig 1863. S. 14. — [22] Sabler, Beobachtungen über die irdische Strahlenbrechung und über die Gesetze der Veränderung derselben. Dorpat 1839. — [23] Günther, Historische Notizen über die Lateralrefraktion, Sitzungsber. d. phys.-med. Societät zu Erlangen, Sitzung vom 11. Mai 1874. — [24] Fr. Pfaff, Beobachtungen über Lateralrefraktion, Sitzungsber. d. k. bayr. Ak. d. Wissensch., m.-ph. Kl., 1872. S. 147 ff. — [25] Sonderhof, Die geodätischen Korrektionen der auf dem Sphäroid beobachteten Horizontalwinkel, Arch. d. Math. u. Phys., 50. Theil. S. 40 ff. — [26] A. Fischer, Der Einfluss der Lateralrefraktion auf das Messen von Höhenwinkeln, Berlin 1882. — [27] v. Bauernfeind, Ergebnisse etc., S. 48 ff. — [28] Hartel, Ueber den Zusammenhang zwischen der terrestrischen Strahlenbrechung und den meteorologischen Elementen, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 16. Band. S. 112 ff. — [29] v. Oppolzer, Ueber den Zusammenhang der Refraktion mit der Temperaturvertheilung in der Atmosphäre, Wien 1884. — [30] A. v. Humboldt, Kosmos, 3. Band, Stuttgart und Augsburg 1858. S. 60 ff. — [31] Ibid. S. 112 ff. — [32] Ibid. S. 67. — [33] A. v. Humboldt, Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent fait en 1799—1804, Vol. I., Paris 1799. S. 623 ff. — [34] Montigny, Nouvelles recherches sur la fréquence de la scintillation des étoiles dans le rapport avec la constitution de leur lumière, Mondes. (2) Vol. XXXVI. S. 75 ff. — [35] Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 75. — [36] Ibid. S. 631. — [37] Schweizer. Ueber das Sternschwanken, Moskau 1858. — [38] Zakarija Ben Muhammed Ben Mahmûd Al-Kazwînî's Kosmographie, 1. Halbband, deutsch von Ethé. Leipzig 1868. S. 63. — [39] Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 66. — [40] Clausius. Die Lichterscheinungen der Atmospäre dargestellt und erläutert. (Grunert's) Beitr. zur meteor. Optik u. zu verw. Wissensch., 1. Theil. S. 371 ff. — [41] Olivarius, Moskovische und persische Reisebeschreibung, Schleswig 1647. cap. VII. — [42] Humboldt, Kosmos. 3. Band. S. 69. — [43] Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, Leipzig 1876. S. 291 ff. — [44] Lichtenberg, Ueber meteorologische Gegenstände. Phys. u. math. Schriften, ed. Kries, 4. Band, Göttingen 1806. S. 330. — [45] Saussure, Déscription d'un diaphanomètre, Mém. de Turin, Vol. IV. S. 425 ff. — [46] A. und H. v. Schlagintweit, Durchsichtigkeit der Atmosphäre und Farbe des Himmels in grösseren Höhen in den Alpen, Ann. d. Phys. u. Chem., 84. Band. S. 340 ff. — [47] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 387 ff. — [48] Lippich. Ueber polaristrobometrische Methoden, Wien 1882. — [49] Ibid. S. 5. — [50] Clausius, Die atmosph. etc., S. 375 ff. — [51] Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 71. — [52] Saussure, Voyages dans les Alpes, Vol. II., Neufchâtel 1779. S. 199. — [53] Funck, Liber de coloribus coeli. Ulmiae 1716. — [54] Hellmann, Beobachtungen über die Dämmerung, Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteor., 19. Band. S. 168 ff. — [55] R. Wolf. Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 4. Band. Zürich 1862. S. 269. — [56] Prevost, Remarques sur trois suites d'observations cyanométriques de H. B. Saussure, Journ. de phys., Vol. LVII. — [57] J. Müller. Lehrbuch etc. S. 399. — [58] Humboldt, Kosmos,

3. Band. S. 135. — [59] Goethe, Farbenlehre, 1. Theil, Stuttgart 1869. S. 56. — [60] Muncke, Ueber subjektive Farben und gefärbte Schatten, Schweigger's Journal, 30. Band. S. 81 ff. — [61] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 1. Band, Leipzig 1825. S. 12. — [62] Clausius, Die atmosph. etc. S. 390 ff. — [63] Forbes, The colours of the atmosphere, Transact. of the royal society of Edinburgh. Vol. XIV. S. 1 ff. — [64] Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit, 2. Band, Stuttgart 1884. S. 260 ff. — [65] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 404. — [66] Heis, Erscheinung des Wasserziehens an der der Sonne gegenüberstehenden Seite, Wochenschr. f. Astr., Met. u. Geogr., (2) 6. Jahrgang. S. 118 ff. — [67] Clausius, Die atmosph. etc. S. 367. — [68] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 406 ff. — [69] Wheatstone, On a mean of determining the apparent solar time by the diurnal change of the plane of polarization at the north pole of the sky, Report of the British Association for 1848. — [70] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 410. — [71] Brewster-Gladstone, On the lines of the solar spectrum; map of the solar spectrum, giving the absorption lines of the earth's atmosphere, Phil. Transact., 1860. S. 149 ff. — [72] Gladstone, Notes on the atmospheric lines of the solar spectrum, Proceedings of the royal society, Vol. XI. S. 305 ff. — [73] Janssen, Sur les raies telluriques du spectre solaire, Compt. rend. de l'acad. franç., Vol. LIV. S. 1280; Vol. LVI. S. 538; Vol. LX. S. 213; Sur le spectre de la vapeur d'eau, ibid. Vol. LXIII. S. 289. — [74] Hennessey, Sur les raies atmosphériques du spectre solaire reproduites dans une carte sur la même échelle que celle adoptée par Kirchhoff, Mondes, (2) Vol. XXVII. S. 44 ff. — [75] Secchi, Note sur les spectres prismatiques des corps célestes, Compt. rend. de l'acad. franç., Vol. LVII. S. 71 ff. — [76] Ueber das Vorherverkündigen regnerischer Witterung bei hohem Barometerstande mittelst des Spektroskopes, Gaea, 11. Jahrgang. S. 723 ff. — [77] Vogel, Photographische Spektralbeobachtungen im rothen und indischen Meere, Ann. d. Phys. u. Chem., 156. Band. S. 319 ff. — [78] Vogel, Spektroskopische Untersuchung des Lichtes der blauen Grotte auf Capri, ibid. 156. Band. S. 325 ff. — [79] Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae. Augustae Vindelicorum 1760. S. 388 ff. — [80] Clausius, Die atmosph. etc. S. 379 ff. — [81] Nonius, De crepusculis liber unus, cum tractatu Alhazenii de causis crepusculorum, Olysipone 1542. — [82] Joh. Bernoulli, Opera omnia, ed. Cramer, tomus I., Lausannae 1742. S. 64 ff. — [83] R. Wolf, Handbuch der Mathematik, Physik, Geodäsie und Astronomie, 2. Band, Zürich 1870. S. 178. — [84] Stoll, Das Problem der kürzesten Dämmerung, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 28. Jahrgang. S. 150 ff. — [85] Annuaire météorologique de France pour 1849, S. 34. — [86] Zuckermann, Materialien zur Entwickelung der altjüdischen Zeitrechnung im Talmud, Breslau 1882. S. 65 ff. — [87] Lambert, Photometria, S. 448 ff. — [88] Funck, De coloribus etc. S. 155. — [89] v. Bezold, Anleitung zur Beobachtung von Dämmerungserscheinungen, Mittheil. d. internat. Polarkommission, S. 81 ff. — [90] v. Bezold, Atmosphärisch-optische Erscheinungen im Hochgebirge, Westermann's Monatshefte, (3) 12. Band. S. 282 ff. — [91] Waltenberger, Das bayrische Hochland und Salzburg nebst den angrenzenden Gebieten von Tyrol, Augsburg 1880. S. 449. — [92] R. Wolf, Handbuch etc., 2. Band. S. 176. — [93] Burkhardt-Jetzler, Die Abendlichter an der östlichen Küste Südamerika's, Ann. d. Phys. u. Chem., 145. Band. S. 196 ff. S. 337 ff. — [94] Hellmann, Beobachtungen etc., S. 171. — [95] Keill, Introductio ad veram astronomiam, Oxoniae 1718. S. 301. — [96] Schlesicke, Miscelle, Beitr. z. met. Optik, 1. Theil. S. 463 ff. — [97] Th. Forster, Researches about atmospheric phenomena, London 1823. S. 86. — [98] Poëy, Définition de l'anticrépuscule prismatique, Compt. rend. de l'acad. franç., Vol. XLVIII. S. 916 ff. — [99] Ragona, Ueber das ungewöhnliche Abendroth, Zeitschr. d. österr. Ges. f. Met., 19. Band. S. 72 ff. — [100] v. Zech, Ueber die Abendröthen der letzten Wochen, Humboldt, 3. Jahrgang. S. 127 ff. — [101] Lorscheid, Die Lichterscheinungen am Morgen- und Abendhimmel in den Monaten November und Dezember 1883 und Januar 1884, Gaea, 20. Jahrgang. S. 76 ff. — [102] Hann, Ueber die ausserordentlichen Dämmerungserscheinungen, Zeitschr. d. österr. Ges. f. Met., 19. Band. S. 72 ff. — [103] Flammarion, Le soleil vert et le cataclysme de Java, L'Astronomie, 1884. S. 19 ff. — [104] Neumayer, Bericht über die vulkanischen Ausbrüche des Jahres 1883 in ihrer Wirkung auf die Atmosphäre, Met. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 1 ff. S. 49 ff. S. 93 ff. — [105] Ibid. S. 50 ff. — [106] Kiessling, Ueber den Einfluss künstlich erzeugter Nebel auf direktes Sonnenlicht, ibid. 1. Jahrgang. S. 117 ff. — [107] Ibid. S. 124. — [108] Simmler, Versuch zur Erklärung der eigenthümlichen Beleuchtung bei Sonnenfinsternissen. Mittheil. d. naturf. Ges. zu Chur, 1860. — [109] Priestley, Geschichte und gegen-

wärtiger Zustand der Optik, deutsch von Klügel, Leipzig 1876. S. 327 ff. — [110] Zschokke, Die farbigen Schatten, ihr Entstehen und ihr Gesetz, Aarau 1826. — [111] Gefärbte Schatten. Wochenschr. f. Astr., Met. u. Geogr., (2) 6. Jahrgang. S. 390 ff. — [112] Clausius, Die atmosph. etc. S. 401 ff. — [113] Latham, On a singular instance of atmospheric refraction, (Gilbert's) Ann. d. Phys., 4. Band. S. 142. — [114] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 373 ff. — [115] Minasi, Dissertazione sopra un fenomeno vulgarmente detto Fata Morgana, Roma 1773. — [116] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara, deutsch von Vogt, 2. Abtheilung, Jena 1872. S. 135 ff. — [117] Billwiller, Ueber eine merkwürdige Luftspiegelung, Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. zu Zürich, 1878. S. 273 ff. — [118] Gruber, Physikalische Abhandlung von der Strahlenbrechung, Dresden 1787. — [119] Büsch, Tractatus duo optici argumenti, Hamburgi 1783. — [120] Monge, Sur le phénomène optique, connu sous le nom de mirage, Mém. de l'institut d'Égypte, Vol. I. — [121] Biot, Recherches sur les réfractions extraordinaires qui ont lieu près de l'horizon, Paris 1810. — [122] Grunert, Die Theorie der Luftspiegelung. Beitr. etc., 1. Theil. S. 326. — [123] Vince, Observation on an unusual horizontal refraction of the air, London 1799. — [124] Scoresby, An account of the arctic regions with a history and description of the northern whale-fishery, Vol. I., Edinburgh 1820. S. 386. — [125] Clausius, Die atmosph. etc. S. 416. — [126] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 379. — [127] Reclam, Geschichte der Theorie des Regenbogens, Gaea, 14. Jahrgang. S. 461 ff. — [128] Gnau, Der Regenbogen, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 226 ff. — [129] Poske, Die Erklärung des Regenbogens bei Aristoteles, Zeitschr. f. Math. u. Phys., h.-lit. Abtheil., 28. Band. S. 134 ff. — [130] L. Annaei Senecae Natur. Quaestionum libri VII, lib. I., cap. 3. — [131] Reclam, Geschichte etc. S. 464. — [132] Fleischer, De iridibus doctrina Aristotelis et Vitellionis, certa methodo comprehensa, Vitebergae 1571. — [133] De Dominis, De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus, Venetiis 1611. — [134] Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, tome IV., Paris 1841. S. 446. — [135] Reclam, Geschichte etc. S. 471 ff. — [136] Gnau, Der Regenbogen, S. 234. — [137] Heilermann-Diekmann, Lehr- und Uebungsbuch für den Unterricht in der Algebra, 3. Theil, Essen 1879. S. 109. — [138] Gnau, Der Regenbogen, S. 232 ff. — [139] Radicke, Handbuch der Optik, 2. Band. Berlin 1839. S. 305. — [140] Heilermann, Ueber den dritten Regenbogen, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 10. Jahrgang. S. 72 ff. — [141] Priestley, Geschichte etc. S. 430. — [142] Hammerl, Ueber Regenbogen, gebildet durch Flüssigkeiten von verschiedenen Brechungsexponenten, Sitzungsber. d. k. k. Akad. zu Wien, math.-phys. Kl., 1883. S. 206 ff. — [143] Bravais, Sur le phénomène de l'arc-en-ciel blanc, Ann. de chim. et de phys., (3) Vol. XXI. S. 348 ff. — [144] Langwith-Daval, On extraordinary rainbow, Philos. Transact., 1722. S. 241 ff. — [145] Bravais, Annuaire météorologique de France pour 1849. S. 331. — [146] Hellwag, Abhandlung vom vielfachen Regenbogen, Teutsches Museum, 1790. S. 420 ff. — [147] Venturi, Commentari sopra la storia e la teoria dell' ottica, Bologna 1814. — [148] Brandes, Vorlesungen über Naturlehre, Leipzig 1844. S. 498. — [149] Scholz, De figura guttae cadentis in aëre resistente, Vratislaviae 1826. — [150] Grunert, Theorie des Regenbogens, Beitr. etc., 1. Theil. S. 36 ff. S. 72 ff. — [151] Brandes, Ueber den Regenbogen, Ann. d. Phys., 19. Band. S. 464 ff. — [152] Airy, Intensity of light in the neighborhood of a caustic, Transact. of the Cambr. Society, Vol. VI. S. 379 ff. — [153] Miller, On spurious rainbows, Phil. Mag., (3) Vol. VI. S. 397 ff. — [154] Galle, Messungen an Regenbogen, Ann. d. Phys. u. Chem., 63. Band. S. 342 ff. — [155] Clausius, Die atmosph. etc. S. 433 ff. — [156] Heller, Geschichte etc., 1. Band. S. 60. — [157] Fraunhofer, Neue Modifikation des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben, Schumacher's Astr. Abhandl., 3. Heft. — [158] Galle, Ueber Höfe und Nebensonnen. Ann. d. Phys. u. Chem., 49. Band. S. 310 ff. — [159] Bravais, Sur les halos et les phénomènes optiques qui les accompagnent, Journ. de l'école polyt., vol. XVIII. S. 320 ff. — [160] Kuhse, Die drei wichtigsten Hof- und Nebensonnenphänomene, nämlich das Römische, das Danziger und das Petersburger Phänomen, genau nach den Quellen dargestellt, Beitr. z. met. Optik etc., 1. Theil. S. 169 ff. — [161] Hevelius, Mercurius in sole visus ... nec non genuina delineatio paraselenarum et pareliorum quorundam rarissimorum, Gedani 1662. — [162] Aepinus, Halonum extraordinariarum Petropoli visarum descriptio, Novi Comm. Acad. Scient. Imp. Petrop., tomus VIII. S. 392 ff. — [163] J. T. Lowitz, Déscription d'un météore remarquable observé à St. Pétersbourg, St. Pétersbourg 1794. — [164] Kuhse, Die drei etc. S. 191. — [165] C. Plinii Secundi historiae naturalis libri XXXVII,

lib. II. cap. 31. — [166] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, 3. Band, Halle 1836. S. 115. — [167] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 425. — [168] Clausius, Die atmosph. etc. S. 445. — [169] Kämtz, Lehrb. etc., 3. Band. S. 192. — [170] J. Müller, Lehrbuch etc. S. 438 ff. — [171] Schwerd, Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt, Mannheim 1835. S. 126. — [172] Clausius, Die atmosph. etc. S. 439 ff. — [173] Silberschlag, Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, 1. Theil, Berlin 1780. S. 139. — [174] Clausius, Ueber die Lichtzerstreuung in der Atmosphäre und die Intensität des durch die Atmosphäre reflektirten Lichtes, Journal für die reine und angew. Mathem., 36. Band. S. 122 ff. S. 185 ff. — [175] Lommel, Wind und Wetter; gemeinfassliche Darstellung der Meteorologie, München 1873. S. 318. — [176] Ibid. S. 325. — [177] v. Winterfeld, Ueber den hellen Schein, den Einige um den Schatten des Kopfes gesehen haben, Ann. d. Phys., 18. Band. S. 57 ff. — [178] Gehler's phys. Wörterbuch, 2. Aufl., 5. Band, 1. Abtheil., Leipzig 1829. S. 439 ff. — [179] Lommel, Ueber den Lichtschein um den Schatten des Kopfes, Sitzungsber. d. phys.-med. Societät zu Erlangen vom 23. Juni 1873. — [180] Flammarion, L'astronomie populaire et les comètes au temps d'Ambroise Paré et de Charles IX, L'Astronomie, 1882. S. 339 ff.

Kapitel IV.

Atmosphärische Elektricität; Gewitter.

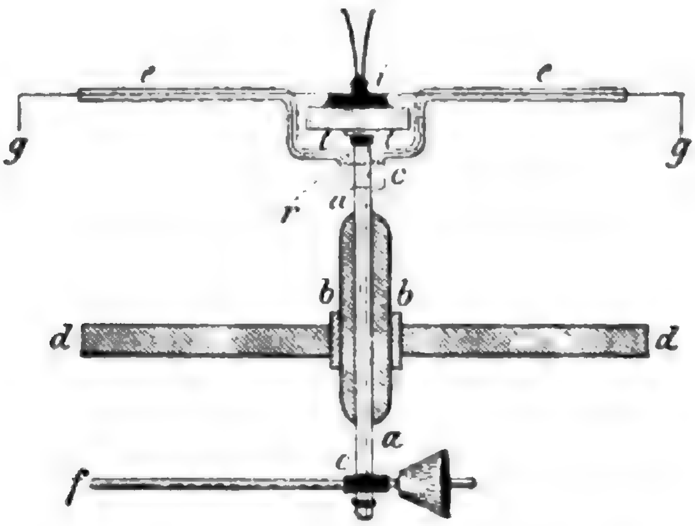
§. 1. **Statische und dynamische Luftelektricität.** Die Thatsache, dass der Luft Elektricität innewohnt, musste sich von dem Augenblicke an den Forschern offenbaren, als dieselben die verschiedenen Erscheinungsformen der elektrischen Entladung zu studiren begannen, und in der That finden wir, dass bereits Otto v. Guericke das von seiner rotirenden Schwefelkugel ausgehende Knistern mit den Gewittergeräuschen in Parallele zu stellen nicht umhin konnte [1]. Strenge haben wir zu scheiden zwischen jenen Bekundungen des Vorhandenseins von Elektricität, welche auch bei vollkommen ruhiger Atmosphäre zu Tage treten, und zwischen jenen, welche auf das Vorgehen eines mehr oder minder heftigen Ausgleichungsprocesses hinweisen. Wenn wir in diesem Sinne von statischer und dynamischer Luftelektricität sprechen, so dürfte über die Bedeutung dieser an sich vielleicht minder gebräuchlichen Worte kein Zweifel obwalten. Die monographischen Darstellungen von Waitz [2], K. F. Jordan [3] und Palmieri [4], von denen die letztere das Ergebniss emsiger fünfunddreissigjähriger Thätigkeit ist, gestatten es gegenwärtig, eine ziemlich übersichtliche Theorie der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen zu liefern.

Der Elektricität des heiteren Himmels wendete zuerst Le Monnier seine Aufmerksamkeit zu, während die Gewitter, an deren Zusammenhang mit den Attraktionserscheinungen des geriebenen Bernsteins (ἤλεκτρον) damals freilich noch Niemand dachte, schon in der „Meteorologie" des Aristoteles ihre Rolle spielten [5]. Es wird angezeigt sein, auch hier stufenweise vom Einfacheren zum Komplicirteren

emporzusteigen und zunächst die statische Elektricität allein in Betracht zu ziehen.

§. 2. **Atmosphärisch-elektrische Messungsapparate.** Wie Waitz (a. a. O.) berichtet, datiren die ersten Versuche, die Luftelektricität durch Metallspitzen aufsaugen zu lassen und diese Spitzen sodann mit dem Prüfungs-Elektroskope in leitende Verbindung zu bringen, von D'Alibard. Der grossartige Apparat, welchen De Romas zu diesem Behufe konstruiren liess, ward von J. Müller [6] einlässlich beschrieben; auf ähnlichem Principe beruht die weit einfachere Saugvorrichtung Romershausen's [7]. Volta und Bennet wollten die Spitzen um 1787 durch Flammen ersetzen, eine bequeme und für oberflächliche Betrachtung recht einleuchtend erscheinende Methode, welche aber vor den Einwürfen Palmieri's nicht bestehen kann. Wirkliche Messinstrumente erhielt man erst 1836 durch Peltier und Dellmann. W. Thomson liess aus einem isolirt aufgestellten Metallgefässe, das seitlich mit einer langen, feinen Spitze versehen war, einen dünnen Wasserstrahl ausströmen, der bei'm Zerstäuben eine natürliche Quelle von Elektricitätsentwickelung wurde, und so lud sich obiges Gefäss von selbst. Das Metallgefäss ward mit einem feinen Elektrometer verbunden, der die eigentliche Messung der Intensitäten übernahm, so dass in dieser Weise sogar das Selbstregistriren besorgt werden konnte*). Dellmann lieferte [8] eine genaue Beschreibung dieses Thomson'schen Flaschenelektrometers, welches an die Stelle des bis dahin den Ruf des feinsten Messapparates an sich tragenden Säulenelektrometers trat. In der That erfreut sich dieser zweite, messende Theil des Thomson'schen Instrumentes noch heute vollster Anerkennung, der Entwickelungsapparat aber ist nach Palmieri [9],

Fig. 41.



der schon im Jahre 1850 an die Anwendung eines kleinen Springbrunnens zu vorgedachtem Zwecke gedacht hatte, als mit allzu vielen

*) Lichtenberg soll bereits daran gedacht haben, seine bekannten Strahlenfiguren, welche durch Aufschütten von Pulver auf eine Elektrophorplatte sich zu zeigen pflegen, für die Zwecke des Selbstregistrirens auszunützen.

Mängeln behaftet erkannt worden. Derselbe fand nämlich, dass die Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahles eine allzu veränderliche sei, dass eine ausreichende Isolirung des Metallbechers sich kaum durchführen lasse, und dass eine selbst nur annähernde Schätzung der durch Zerstreuung verloren gehenden Elektricitätsquanta zu den Unmöglichkeiten gehöre. Von all' diesen Nachtheilen ziemlich frei ist Palmieri's Bifilarelektrometer, welchem wohl die nächste Zukunft gehört; wir setzen hier dessen Eigenthümlichkeiten in möglichst engem Anschlusse an des Erfinders eigene Worte [10] auseinander. Die wesentlichen Bestandtheile des Apparates, welche Fig. 41 uns vorführt, sind in einer Glasbüchse eingeschlossen, welche — die in's Glas eingeätzte Kreistheilung mit inbegriffen — völlig mit jener einerlei ist, welche Jedermann von der Coulomb'schen Torsionswage her kennt. Die Ablesung erfolgt nach den bekannten Poggendorff'schen Principien, indem an der Drehungsaxe in i ein Spiegelchen angebracht ist. dd bedeutet in unserer schematischen Zeichnung den Boden des Glascylinders; dieser Boden ist central durchbohrt, und in die Lücke ist eine kurze, selbst aber ebenfalls durchbohrte Röhre bb von Krystall eingeschmolzen. Die Höhlung erfüllt ein aus ausgezeichnet isolirender Mastixmasse verfertigter Stab aa, und durch diesen geht wieder ein Kupferdraht cc hindurch, der an seinem unteren — aus der Büchse herausragenden Ende — den leichten Metallstab f, an seinem oberen aber ein Schüsselchen r aus vergoldetem Kupfer trägt; weiter unten ist an cc der Doppelarm ee angebracht. Im Inneren des Schüsselchens r hängt eine etwas kleinere Aluminiumscheibe t, durch deren Mittelpunkt i — zugleich (s. o.) den Träger des Ablesungsspiegels — ein sehr feiner Aluminiumdraht gg hindurchgezogen ist. i nun ist bifilar an dem oberen Ende des Glasrohres befestigt, welches auf die Glocke aufgesetzt ist; die Aufhängung wird durch Schrauben so geregelt, dass die Aluminiumscheibe genau im Mittelpunkte der kleinen Aushöhlung r einspielt, und dass zugleich der Zeiger g dem Nullpunkt der Gradeintheilung gegenüber steht. Diess ist die richtige Adjustirung. Wird der Draht f mit einem geladenen Körper berührt, so wird der Zeiger um eine Anzahl Grade abgelenkt, alsdann aber dreht er sich zurück und verharrt in dieser seiner neuen Stellung. War er anfänglich um a^0, und ist er nachgerade um b^0 vom Nullpunkt entfernt, so ist a in Palmieri's Sprechweise der impulsive Bogen, b der definitive Bogen; nimmt man an, dass der erstere Bogen der dem Drahte f übermittelten Elektricitätsmenge direkt proportional ist, so besteht eine mathematische, von Battaglini ausgemittelte Beziehung zwischen impulsivem und definitivem Bogen [11]. Der impulsive Bogen selbst aber ist proportional dem Potentiale der atmosphärischen Elektricität (vgl. I. Band, S. 165).

Es übrigt nur noch anzugeben, wie mit diesem Instrumente die Elektricität in verschiedenen Höhen über der Erdatmosphäre geprüft werden kann. Es genügt aber, zu sagen, dass ein durch die Decke des Beobachtungsraumes hindurch geführter langer Konduktorstab durch einige mit der Hand leicht zu regierende Schnurläufe rasch auf- und abbewegt werden kann, während sein unteres Ende einerseits mit dem Bifilarelektrometer, andererseits mit einem Bohnenberger'-

schen Elektroskope*) verbunden wird. Jenes liefert das Maass für die augenblickliche Spannung der Luftelektricität, dieses giebt deren Vorzeichen an.

§. 3. **Art und Periodicität der atmosphärischen Elektricität.** Im Allgemeinen kann man wohl sagen [12], die Luft sei stets und an allen Orten elektrisch, doch erwähnt z. B. Bessels [13], dass ihm während des Winteraufenthaltes in Polaris-Bay längere Zeiträume vorgekommen seien, während deren absolut keine elektrische Reaktion bemerkbar war. Schon frühzeitig hatte man herausgebracht, dass die Art der atmosphärischen Elektricität nicht immer die gleiche, dass vielmehr das Vorzeichen derselben ein wechselndes ist. Nach Jordan (a. a. O.), der sich in der Hauptsache auf die Untersuchungen von Duprez [14] und Mühry [15] bezieht, gilt etwa Folgendes. Ueberwiegend besitzt die ruhende Luft + E, bei bedecktem Himmel und bei Niederschlägen pflegt — E vorzuwiegen, und man soll etwa 23 gegen 1 wetten können, dass man in einem beliebigen Zeitpunkte + E antreffen werde. Je weniger saugkräftige Gegenstände sich in der Nähe befinden, um so kräftiger tritt die Elektricität hervor, während sie im Walde fast gänzlich verschwindet. Dünste wirken verstärkend, der Thau liefert positive Elektricität. Nach Ragona sollen Zunahme der Luftelektricität und des Luftdruckes Hand in Hand gehen. Palmieri's umfassende Beobachtungen mit feinen Hülfsmitteln haben manche dieser etwas gar zu allgemeinen Wahrheiten etwas bestimmter zu fassen gestattet, insoferne namentlich der folgende Erfahrungssatz von ihm aufgestellt und begründet werden konnte [16]: „Wenn innerhalb eines den Beobachtungsort koncentrisch einschliessenden Kreises, dessen Halbmesser 70 km erreichen kann, weder Regen, noch Hagel oder Schnee fällt, so ist die Elektricität bei heiterem Himmel immer positiv. Es ist bereits durch eine lange Reihe von Versuchen bewiesen, dass, wenn man bei heiterem Himmel des Beobachtungsortes negative Elektricität beobachtet, in einer gewissen Entfernung von jenem das Vorhandensein von Regen, Hagel oder Schnee sicher ist.“ Die Ansicht, dass mit der vertikalen Erhebung mehr + E sich zeige, bezweifelte schon W. Thomson mit Rücksicht auf seine auf der Insel Arran gemachten Erfahrungen, und Palmieri wies überzeugend nach (a. a. O.), dass der Ansicht nur eine sehr bedingte Richtigkeit innewohne. Dass die atmosphärische Elektricität eine jährliche wie tägliche Periode zeige, schloss man aus den Beobachtungsreihen, welche Schübler, Lamont, Quetelet und das geophysikalische Observatorium von Kew zur Verfügung gestellt hatten. Indessen ist diese Periodicität nichts weniger als eine regelmässige. Die tägliche Periode ist durch zwei Maxima und Minima charakterisirt; das erste Maximum entfällt ungefähr auf 9 Uhr des Morgens, das zweite, lang andauernde, auf die Zeit nach Sonnenuntergang, während das erste Minimum dem Anbruch des Tages, das zweite einer sehr variablen Nachmittagsstunde

*) Gegenüber den beiden Polen einer trockenen (Zamboni'schen) Säule sind feine Goldblättchen aufgehängt, welche durch den Sinn ihres Ausschlages das Zeichen der Elektricität mit sonst kaum erreichbarer Feinheit angeben.

entspricht. „Mit Sicherheit," sagt Palmieri [17], „kann ich nur das angeben, dass ich nach Verzeichnung vieler Kurven dieser täglichen Periode, wozu ich die regelmässigsten Tage wählte, eine gewisse Aehnlichkeit aller dieser Kurven erkannte; sie sind aber so winkelig, dass man an denselben starke Erhöhungen und Vertiefungen von einer Viertelstunde zur anderen wahrnimmt."

§. 4. **Quellen der statischen Luftelektricität.** Dass es an Hypothesen nicht fehlt, durch welche der Ursprung der atmosphärischen Elektricität klar gemacht werden soll, ist leicht verständlich. Die bedeutsamsten hievon mögen wohl die nachstehend angeführten und kurz erörterten sein.

a) **Die Reservoir-Hypothese.** Peltier [18] und Lamont [19] hielten dafür, dass man in der Erde ein stabil mit einem bestimmten Quantum negativer Elektricität geladenes Reservoir vor sich habe; Ungleichheiten der Erdoberfläche bedingten eine unregelmässige Vertheilung der Erdelektricität, welche durch ihre Berührung in der umgebenden Luft eine entgegengesetzte, also positive Elektricität erzeuge. Freilich beantwortet diese Theorie die zu stellende Frage nicht, sie führt die Lösung vielmehr nur auf eine andere, kaum minder verwickelte Frage zurück *).

b) **Die Insolations-Hypothese.** Aus seinen Studien über die geographische Vertheilung der atmosphärischen Elektricität glaubte Mühry [20] schliessen zu sollen, dass diese Vertheilung mit der Mitteltemperatur, d. h. der Insolationsdauer parallel gehe; er betrachtet demzufolge die Sonnenbestrahlung als den weitaus wichtigsten Faktor der Elektricitätsbildung und will der Reibung von Wind und Staub blos eine untergeordnete Bedeutung einräumen. Aus diesem Grunde nehme auch die Intensität der elektrischen Wirkungen nach den Polen hin ab **). Auf ähnlicher thermo- oder pyroelektrischer Grundlage beruht Giordano's Hypothese [22].

c) **Die Reibungs-Hypothese.** Was Mühry (s. o.) für minder wichtig erachtet, nämlich die Reibung, sieht Jordan [23] als das eigentlich Maassgebende an. Seine These lautet, wie folgt: „Die Entwickelung der atmosphärischen Elektricität hängt von der vereinten Wirkung des Wasserdampfes und der Sonnenwärme ab." So richtig diess unzweifelhaft ist, so sehr vermisst man gleichwohl eine nähere Spezialisirung des eigentlichen Entwickelungsprocesses.

d) **Die kosmische Hypothese.** Becquerel scheint der Erste gewesen zu sein, der für einen solaren Ursprung aller Erdelektricität plaidirte. Der eruptive Wasserstoff der Sonnenoberfläche (I. Band, S. 63) sei positiv, der Sonnenkörper selbst negativ elektrisch; die Wasserstoffprotuberanzen sollen ihre Elektricität durch die Vermittelung von Körperchen, die hinaus in den Weltraum wandern, direkt an unsere irdische Atmosphäre übertragen [24]. Auch Faye lässt den

---

*) Dellmann behauptet allerdings auch, dass die Luft nicht erst durch Mittheilung elektrisch werde, sondern schon von Hause aus elektrisch sei.

**) Diess leugnet Lemström [21] ganz entschieden. Die Elektricität sei nur in den Polarregionen schwer zu konstatiren.

stark verdünnten Wasserstoff selber herab zur Erde gelangen [25] *). Tiefer eindringend ist die Auffassung der kosmischen Hypothese, welcher wir bei Werner Siemens [26] begegnen. Ihm zufolge wirkt die Sonne elektrisch vertheilend auf alle Himmelskörper, also auch auf die Erde. Dort muss also die frei werdende entgegengesetzte Elektricität abgeleitet werden, ähnlich, wie wenn einem geladenen sphärischen Konduktor eine kleine isolirte Kugel gegenübergestellt wird. Möglicherweise repräsentiren — wie schon in Kap. IV der vorigen Abtheilung angedeutet ist — die Polarlichter den sichtbaren Ausgleich zwischen der von der Sonne mit negativ elektrischer Ladung ausströmenden Materie und der frei gewordenen positiven Influenzelektricität der Erde. Die Gewitter werden uns nochmals zu der von Siemens vertretenen Anschauung zurückführen, deren Hauptsatz — dass nämlich der Weltraum als trennendes Mittel (Dielektrikum) zu gelten habe — K. J. Jordan für unvereinbar mit den Grundwahrheiten der Elektricitätslehre hält [27]**). Auch Zehnder bekämpft in zwei Aufsätzen über Luftelektricität [28] und über Kometen [29] Siemens' Annahme einer solaren Elektricität von grossem Potentiale.

e) **Die Verdampfungs-Hypothese.** Schon Saussure, dessen in sein berühmtes Reisewerk [30] eingerückte Abhandlung „Nouvelles recherches sur l'électricité atmosphérique“ eine grosse geschichtliche Bedeutung für unsere Disciplin beanspruchen darf, schrieb der Verdunstung des Meerwassers den wichtigsten Antheil bei der positivelektrischen Erregung unserer Lufthülle zu; Tait, Wanklyn und besonders Pouillet [31] traten auf Saussure's Seite ***). Doch ist durch den gründlichsten Kenner der Reibungselektricität, durch Riess [32], die Unhaltbarkeit obiger Theorie dargethan worden, und, wie wir den Mittheilungen von Waitz [33] entnehmen, hat auch neuerdings noch eine von Freeman und Blake in's Werk gesetzte Versuchsreihe bewiesen, dass die ruhige Verdunstung von Flüssigkeiten, im Besondern auch von Meerwasser, nicht als Elektricitätsquelle angesehen werden kann.

f) **Die Kondensations-Hypothese.** Wir erinnern in dieser Hinsicht zuerst an Wettstein, der, im Gegensatze zu Pouillet, in der Kondensation des Wasserdampfes zu Wolken und im Freiwerden der vorher latenten Wärme die eigentlich einflussreichen Momente erkannte [34]. Jordan möchte [35] diese Lehre hauptsächlich wegen der von Palmieri am Vesuv gesammelten Erfahrungen verworfen wissen, doch sehen wir nicht recht ab, worin die Unverträglichkeit zu suchen sein soll, da doch Palmieri ganz ausdrücklich hervorhebt [36]: „Die mit geeigneten Apparaten angestellten Beobachtungen haben bewiesen, dass der sich in den Rauchwolken kondensirende Wasserdampf immer reich an positiver Elektricität ist.“ Auch bekennt sich der italienische Forscher am Schlusse seines Schriftchens [37] mit aller

*) Es wird unseren Lesern von selbst auffallen, dass diese Vermuthung lebhaft an jene Meinung v. Zech's erinnert, deren wir bei den anomalen Dämmerungserscheinungen im vorigen Kapitel zu gedenken gehabt haben.

**) Sollten hiebei nicht Edlund's Resultate (I. Band, S. 91) unterschätzt sein?

***) Es verdient angemerkt zu werden, dass Pouillet nebenher noch in der Vegetation einen Elektricitäts-Entwickler anerkannt wissen wollte.

Bestimmtheit als einen Anhänger seines Landsmannes Volta und erklärt mit ihm „als entferntere oder mittelbare Ursache" der atmosphärischen Elektricität die Verdampfung des Wassers (s. o.), „als nähere und unmittelbare Ursache" aber einzig und allein die Verdichtung der Dämpfe *). Damit erscheint somit die Konkordanz zwischen den Lehrsystemen von Saussure-Pouillet einerseits und Wettstein-Palmieri andererseits angebahnt.

§. 5. **Langsame Ausgleichungsprocesse.** Jedenfalls dürfen wir aus den vorstehenden Darlegungen den Schluss ziehen, dass im Grossen und Ganzen unsere Erde als ein negativ, unser Luftkreis als ein positiv elektrisch geladener Körper zu gelten habe. Wenn dem aber so ist, so kann es füglich nicht ausbleiben, dass Ausgleichungen zwischen den beiden entgegengesetzten Elektricitäten eintreten, und diese können von vorübergehender und langsamer oder auch von plötzlicher und heftiger Natur sein. Jedenfalls ergeben sich dabei akustische und optische Nebenerscheinungen. Erstere bestehen besonders in einem eigenthümlichen Knistern, wie es auch die den Spitzen einer Elektrisirmaschine entlockten Funken vernehmen lassen. Solches beobachtete nach R. Wolf [39] Saussure auf dem Montblanc, und v. Klenze erzählt, dass bei einer Alpenbesteigung er sammt seiner Reisegesellschaft durch einen „singenden" Bergstock auf das Vorhandensein eines solchen langsamen Ausgleichungsprocesses aufmerksam gemacht worden sei, der dann auch ein starkes Kitzeln der Haarwurzeln bewirkt habe, durch eintretenden Regen jedoch rasch beendigt worden sei [40]. Werner Siemens war es vergönnt, auf der Spitze der Cheops-Pyramide förmliche Entladungsschläge, denjenigen einer Kleist'schen Flasche vergleichbar, zu konstatiren, als er eine Champagner-Flasche zu entkorken im Begriffe stand [41]. Dem Wüstensande schrieb Siemens eine für das Zustandekommen dieser Erscheinung wichtige Rolle zu, und Rohlfs stimmte ihm hierin bei, indem er auf die von Ritchie und Duveyrier bei Tag und Nacht bemerkten Funkenbildungen in der Wüste hinwies. Er selbst stellte fest [42], dass im Gefolge eines die Sandkörner mit grösster Geschwindigkeit über rauhen, vulkanischen Boden dahinpeitschenden Samumwindes gar oft elektrische Entladungen vorkämen, und es ist wohl auch zu vermuthen, dass die Reibungselektricität den sonst in aller Stille sich abspielenden Influenzprocess verstärkt und beschleunigt.

Das sogenannte St. Elms-Feuer (nach dem heiligen Erasmus so genannt) kannten die Alten recht gut als ein den Schiffern angeblich Glück verheissendes Vorzeichen **); die römischen Schrift-

---

*) Lamont nahm die Erde als primäre Elektricitätsquelle an, Dellmann (s. o.) betrachtete Erde und Luft als koordinirt. Palmieri endlich macht es wahrscheinlich, dass die Elektricität der Erde keine ihr eigenthümliche, sondern eine aus der Luft inducirte, ein Influenzphänomen ist [38]. Ob aber auch die in Kap. I, §. 5 der vorigen Abtheilung behandelten „Erdströme" einer ausschliesslich auf die Luftelektricität Bezug nehmenden Erklärung fähig sind?

**) Auffallenderweise hat in den antiken Ländern die Volksmeteorologie sich umgestaltet: die Neugriechen sehen, wie B. Schmidt berichtet [43], im St. Elms-Feuer den Vorboten von Unglück.

steller theilen uns mit, dass nicht blos an den Masten der Schiffe, sondern auch an den aufgerichteten Lanzen der Soldaten zu Zeiten ein heller Lichtschein beobachtet worden sei, und gegenwärtig soll dergleichen in den Anden Südamerika's zu den Alltäglichkeiten gehören [44]. Die Erklärung der Lichterscheinung ist nicht schwierig und hat noch zu keinerlei Zweifeln Anlass geboten; es ist ja bekannt, dass die aus Spitzen ausströmende Elektricität häufig mit Lichtphänomenen in Verbindung steht. Selbstverständlich kann es zur Bildung eines St. Elms-Feuers nur so lange kommen, als die Spannung der in einander übergehenden Elektricitäten einen gewissen Grad nicht überschreitet; man wird sich auch erinnern, dass dem in Kap. IV der vierten Abtheilung Gesagten gemäss diese optische Manifestation eines Ausgleichungsprocesses für niedrigere Breiten als etwas dem Polarlichte hoher Breiten durchaus Entsprechendes betrachtet werden muss.

§. 6. **Gewitter, Blitz und Blitzableiter.** Das, was wir Gewitter nennen, ist in Wirklichkeit ein Komplex sehr mannigfacher und von ganz verschiedenen physikalischen Agentien beeinflusster Naturerscheinungen, deren eigentliche Ursache — wenn überhaupt von Ergründung einer solchen die Rede sein kann — erst im zweitnächstfolgenden Kapitel klargestellt werden wird. Hier haben wir es nur mit den elektrischen Begleiterscheinungen zu thun, welche freilich ihres augenfälligen und energischen Charakters halber von Vielen für das Wesentliche gehalten werden. Gewitterwolken, aus dichtem Kumulusgewölke bestehend und von einer eigenthümlichen graublau gefärbten Unterlage getragen, zeigen sich im Allgemeinen stets da, wo warme und dampfreiche Luftströme in die Höhe steigen [45]. Karsten unterscheidet [46] dreierlei verschiedene Arten von Gewittern. Wenn erstens bei ruhiger, klarer Luft viel Wasser durch die Sonnenstrahlen zum Verdampfen gebracht wird, so verdichtet sich dasselbe in den höheren Luftregionen, und es entstehen die Gewitter von oben, wie sie unter den Tropen gewöhnlich, in Europa jedoch weit seltener, und dann nur in der heissesten Jahreszeit, vorkommen. Dieselben haben nicht die Eigenschaft, „das Wetter zu verderben". Zweitens tritt, wenn der kalte Polarstrom durch den warmen Aequatorialstrom plötzlich verdrängt wird, eine schwere Luftmasse rasch in die tieferen Luftpartieen ein, der schnell abgekühlte Wasserdampf unterliegt fast augenblicklicher Verdichtung, und man bekommt das Gewitter von der Westseite. Siegt umgekehrt der Polarstrom, so ergiebt sich das ungleich seltenere Gewitter von der Ostseite. Obwohl in der gegenwärtig nicht mehr üblichen Dove'schen Kunstsprache vorgetragen, haben diese Ansichten doch gewiss einen sicheren Kern, doch sind freilich damit nur die mechanischen Vorbedingungen eines Gewitters gegeben, und wie sich die elektrischen Processe entwickeln, ist damit noch keineswegs erklärt. Mohn (a. a. O.) und Jordan [47] machen einen scharfen Unterschied zwischen Wärme- und Wirbelgewittern, zu welch' letzteren insbesondere die meist sehr verheerenden Wintergewitter zu zählen sind*).

*) Diese Wintergewitter zeichnen sich vielfach durch ihre Verheerungen aus. Erinnert sei z. B. an den Einen furchtbaren Blitzschlag des 6. Januar 1865, der

Völliger Immunität gegen Gewitter hat sich kein Land der Erde zu erfreuen. Die Polargegenden erklärte Arago für gewitterfrei, allein es ist diess, wie v. Dankelman hervorhebt [48], nicht richtig, wie denn z. B. der bekannte Kapitän Johannsen — fälschlich oft Johannesen geschrieben — am 23. September 1873 im Bellsund auf Westspitzbergen ein regelrechtes Donnerwetter erlebt hat. Ebensowenig trifft es zu, dass in Niederperu und in der Sahara Gewitter unerhört wären. H. J. Klein hat eine Tabelle der mittleren jährlichen Gewitterhäufigkeit für eine grosse Anzahl von Erdorten ausgearbeitet [49], zu welcher dann Fritz noch einige Nachträge und Berichtigungen lieferte [50]. Die hervorstechendsten Zahlen mögen folgende sein: Buitenzorg auf Java 160, Banjuwanja ebenda 110 (nach Fritz blos 96), Sta. Anna bei Manila 70 — Upsala 5, Trondheim 3, Port Said 4 Gewitter im Jahre. Einen trefflichen Gewitterdienst im Interesse einer genauen Gewitterstatistik richteten v. Bezold und C. Lang Seitens des bayrischen meteorologischen Centralobservatoriums ein [51]. Dasselbe versendet an alle Stationen erster und zweiter Ordnung, ausserdem aber noch an alle sich freiwillig Erbietenden Postkarten mit aufgedrucktem Formulare, welche durch die Post portofrei befördert werden; der verstorbene Direktor der württembergischen Centralstelle, Schoder, organisirte denselben Dienstzweig in Württemberg, und da München und Stuttgart ihre Erfahrungen gegenseitig auszutauschen pflegen, so konnte v. Bezold in Bälde — es lagen 1882 von 252 bayrischen und 51 württembergischen Stationen nicht weniger als 4162 und 893 Meldungen vor — interessante Schlussfolgerungen ziehen und in einer erstmaligen Mittheilung zur öffentlichen Kenntniss bringen [52]. Das auszufüllende Formular ist folgendes:

In . . . wurde am . . . . 18 . . ein Gewitter (Wetterleuchten) beobachtet.
Wetterleuchten und ferne Blitze { vorher von . . . Uhr bis . . . Uhr im / nachher von . . . Uhr bis . . . Uhr im } Gegend.
Dauer hörbar von . . . Uhr bis . . . Uhr.
Regen dauerte von . . . Uhr bis . . . Uhr.
Hagel dauerte von . . . Uhr bis . . . Uhr.
Gewitter kam aus { . . . . . zog nach . . . . / . . . . zog vorüber im . . . . } Himmelsgegend.
Windrichtung und Windstärke { vor . . . während . . . nach . . . dem Gewitter.
Bemerkungen (insbesondere über Gewitterschäden).
Unterschrift des Beobachters . . . .

Schon jetzt dienten die Erhebungen zur Feststellung gewisser Grundwahrheiten. So ist es z. B. die Regel, dass der Raum, innerhalb dessen gleichzeitig elektrische Entladungen stattfinden, die Gestalt eines langen, schmalen Bandes besitzt, dessen Längsaxe auf der Fort-

---

den Nordthurm der St. Lorenz-Kirche in Nürnberg in Flammen setzte, eine ganze Reihe anderer Kirchen in Mittel- und Unterfranken beschädigte und zugleich das weit entfernte schwäbische Schloss Hohen-Rechberg in Asche legte.

schreitungsrichtung des Gewitters senkrecht steht. Ferner wurde die Erfahrung bestätigt, dass es Oertlichkeiten giebt, welche die Gewitterbildung begünstigen und mit Recht als Gewitterheerde bezeichnet werden können. Es sind unter diese zu rechnen die sumpfigen Niederungen zwischen den Alpen und den oberbayrischen Seen und der Westabhang des Böhmerwaldes; die ausgedehnten Gewitter, welche Bayern durchziehen, haben dagegen ihren Ursprung dem Anscheine nach zwischen Rhein und Schwarzwald. — Frankreich und Skandinavien (unter Mohn's Leitung) sind schon längere Zeit im Besitze einer geordneten Gewitterstatistik; dem erstgenannten Lande gehört z. B. Rottée's auch für andere Länder nachahmenswerthe Zusammenstellung an [53]. Seit 1876 gehört auch Oberitalien in die Reihe der wohlorganisirten Territorien; Ferrari hat [54] sein Beobachtungsmaterial einstweilen bekannt gegeben und C. Lang [55] dasselbe in kritischem Auszuge der deutschen Leserwelt zugänglich gemacht. Letzterer konstatirt, obwohl er mit der italienischen Methode der Diskussion nicht durchaus einverstanden ist, doch immerhin eine weitgehende Uebereinstimmung der durch v. Bezold und durch Ferrari erzielten Ergebnisse [56]. Was nun die bei einem Gewitter sich abspielenden Einzelvorgänge anlangt, so ist der typische Hergang etwa folgender. Die Gewitterwolken wirken, ganz wie andere elektrisirte Körper, vertheilend in die Ferne [57], die in der Erde (s. o.) vorhandene negative Elektricität wird angezogen, und sowie der Widerstand der zwischenliegenden Luftschicht überwunden werden kann, erfolgt eine Entladung. Indem also ein elektrischer Funke zwischen zwei verschieden elektrisch geladenen Wolken oder zwischen der Gewitterwolke und der Erde überspringt, sehen wir einen Blitz. Es war bekanntlich der grosse Franklin, der diese Identität zwischen Blitz und elektrischem Funken dadurch nachwies, dass er einen mit Stahlspitzen versehenen Drachen steigen liess, an dessen Schnur unten ein Metallkörper angebracht war, dem er mit der Hand einen anderen Metallkörper annäherte. Mehrere vielversprechende Wolken zogen resultatlos vorüber, als es aber zu regnen anfieng, begannen plötzlich die Fasern der Hanfschnur sich straff aufzurichten, und zwischen den beiden Metallstücken sprang ein Funke über. Nähere Nachrichten über diesen Grundversuch, sowie über den unglücklichen Ausgang, welchen das nämliche Experiment bald nachher für den Petersburger Akademiker Richmann nahm, findet man in Hoppe's vor Kurzem erschienenen Geschichtswerke [58]. Von Franklin hiess es: „Eripuit coelo fulmen sceptrumque tyrannis."

Dass der Process schematisch so, wie wir ihn schilderten, verläuft, unterliegt keinem Zweifel, doch ist derselbe, wenn man völlige Klarheit über ihn im Einzelnen erhalten will, einer schärferen Analyse bedürftig. Alle uns bekannten Schriftsteller interpretiren Franklin's Versuch in dem Sinne, dass der Regen die Schnur des Drachens befeuchtet, hiedurch diese zu einem guten Leiter gemacht und so das Gelingen herbeigeführt habe. In Wirklichkeit aber würde ohne den Regen überhaupt in der Wolke gar nicht genug Elektricität angesammelt worden sein, um eine Lichterscheinung zu ermöglichen. Palmieri's Untersuchungen haben nämlich diesen unermüdlichen Forscher zu nachstehenden Sätzen geführt [59]: „Die funkenbildende Elektri-

cität, wie sie von Franklin, D'Alibard, Richmann und Anderen beobachtet wurde, setzt immer das Vorhandensein eines starken Platzregens, der in einer gewissen Entfernung vom Beobachtungsorte niedergeht, voraus . . . Man kann demnach mit Gewissheit annehmen, dass die ausserordentlichen elektrischen Spannungen durch die rasche Verdichtung der Wolken zu Wasser hervorgerufen werden." Nach Palmieri enthält übrigens nicht etwa jede einzelne Wolke eine ganz bestimmte Art von Elektricität, sondern die centrale Partie ersterer ist positiv elektrisch geladen, und um sie herum legt sich ein Gürtel von negativer Elektricität, während weiterhin elektrische Zonen mit wechselndem Vorzeichen einander folgen. — Durch Palmieri's Entdeckung scheint der von Waitz [60] geäusserte Zweifel, ob denn die Elektricität bei den Gewittern als „prima causa" gelten könne, demnach gelöst zu sein: jede regnende Wolke ist eine überreiche Elektricitätsquelle. Von ganz anderen Erwägungen geleitet, waren schon früher Fick (in den Verhandlungen der phys.-med. Gesellsch. zu Würzburg, 1883) und noch vor ihm H. J. Klein auf ähnliche Schlüsse geführt worden, wie uns der Letztgenannte in einer zweiten der Sache gewidmeten Abhandlung [61] versichert. Beide Naturforscher legten sich nämlich die Frage vor, wie wohl eine momentane elektrische Spannung entstehen könne, durch welche Funkenlängen von ganzen Kilometern bedingt werden *), und sie antworteten darauf, dass wahrscheinlich eine schon vorher frei vorhanden gewesene Elektricitätsmenge eine rasche und plötzliche Koncentration erfahren habe, indem sehr viele kleine Wasserkügelchen sich mit einemmale zu Einem grossen Tropfen vereinigten. Bei gleich bleibendem Volumen verkleinert sich die Gesammtoberfläche sehr beträchtlich, und da ja die Elektricität sich nur auf der Oberfläche ansammelt, so muss ihr Potential in einem solchen Maasse zunehmen, dass es zu akuten Entladungen kommt.

Nach Arago unterscheidet man Linien- (oder Zickzack-), Flächen- und Kugelblitze [62]; letztere soll Planté experimentell nachzuahmen gelehrt haben [63]. Die erstere Kategorie unterscheidet sich von der zweiten wohl nur darin, dass bei dieser eine Vielheit von Entladungscentren vorhanden ist [64]. An der Realität der Kugelblitze ist mehrfach gezweifelt worden; die Einen glaubten, dass eine Verwechselung mit Feuermeteoren vorliege, Andere, wie Mascart, dachten an subjektive Nachbilder im Auge, allein die Beobachtungen des Dänen Köhl haben den Streit zu Gunsten Arago's entschieden, zumal da die Kugelblitze gewöhnlich in Verbindung mit dem unzweifelhaft elektrischen St. Elms-Feuer (s. §. 5) auftraten [65]. Das sogenannte Wetterleuchten soll, wie Jordan (a. a. O.) meint, stellenweise ein verschwommener Kugelblitz sein, es ist jedoch weit wahrscheinlicher, dass die Anschauung der älteren Physiker Recht behält, und dass jedes Wetterleuchten ein weit vom Beobachter entferntes wirkliches Gewitter

*) Es sei etwa AB die vom Blitze durchlaufene Strecke c, welche dem Beobachter in C unter dem Gesichtswinkel γ erscheint. Verstrichen zwischen dem ersten Aufzucken des Blitzes in A und der ersten Hörbarkeit des Donners t_1 Sekunden, hielt ferner der Donner t_2 Sekunden an, und bedeutet v die Geschwindigkeit des Schalles, so ist offenbar

$$c = \sqrt{\overline{AC}^2 + \overline{BC}^2 - 2 \cdot AC \cdot BC \cdot \cos\gamma} = v \cdot \sqrt{t_1^2 + t_2^2 - 2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot \cos\gamma}.$$

anzeigt. Dieser Ansicht dienen zur besten Stütze die in v. Bezold's oben erwähnter Arbeit gesammelten und verarbeiteten Angaben. Es liess sich beispielsweise durch Vergleichung der Zeiten feststellen, dass am 26. August 1880 Beobachter in Sachsen-Meiningen den Wiederschein der Blitze eines über Ulm hinziehenden Gewitters erkannten, und nördlich der Donau sah man öfters die in der lombardischen Tiefebene niedergehenden Blitze. Es ist diess auch aus geometrischen Gründen leicht einzusehen, wenn man bedenkt, dass von jenen Gegenden aus die Gipfel der Alpenkette noch erkennbar sind, und dass die von den Blitzen erhellten Cirruswolken in ungleich grösserer Höhe über dem Erdboden schweben. Eine Reihe anderer ausgezeichneter Fälle verwandter Art stellt v. Bezold im fünften Bande der Beobachtungen der meteorologischen Stationen in Bayern zusammen.

Fast immer ist der Blitz vom Donner begleitet. Dieses Geräusch ist selbstverständlich, da jede elektrische Entladung auf einer von Schallerscheinungen begleiteten mechanischen Zerreissung einer Trennungsschicht beruht. Vom Rollen des Donners war schon in Kap. I, §. 7 die Rede. v. Bezold bedient sich der akustischen Wirkungen des Blitzes (a. a. O.) für seine graphische Statistik, indem er alle Orte, in welchen der erste Donner zur nämlichen Zeit gehört ward, durch Kurven, die sogenannten Homobronten (βροντή, Donner), mit einander verbindet. Aus dem Verlaufe dieser Linien lässt sich ein anschauliches Bild über das allmählige Fortschreiten der Gewitter gewinnen.

Wenn der Blitz, wie erwähnt, zwischen einer Wolke und einem zur Erde gehörigen Gegenstande überspringt, so sagt man: Es hat eingeschlagen [66]. Die mit diesem Ereignisse verbundene rapide Wärmeentwickelung kann die schlimmsten Folgen für organische und anorganische Körper nach sich ziehen. Allein auch dann, wenn der Blitz kein zündender, sondern, wie es im Volksmunde heisst, ein kalter Schlag ist, vermag er rein mechanisch erhebliche Zerstörungen anzurichten; der Rückschlag, der nichts anderes, als ein in dem benachbarten Leiter, der Erde, ausgelöster Induktionsstrom ist, tödtet die in der Nähe befindlichen Menschen durch die Zerstörung der Nerventhätigkeit, welche bei der plötzlichen Scheidung und Wiedervereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten im Inneren des menschlichen Körpers nicht ausbleiben kann. Um Gebäude gegen die von den Blitzschlägen drohende Gefahr zu sichern, bringt man auf ihnen sogenannte Blitzableiter an. Die Erfindung dieser Vorrichtungen ist auf Franklin zurückzuführen, doch hat es ziemlich lange gedauert, bis dieselben in allgemeinere Aufnahme kamen*). Auf dem

---

*) A. v. Humboldt spottet im Jahre 1789 darüber, dass das aufgeklärte Göttingen keinen einzigen Blitzableiter, die angeblich dem Mysticismus ergebene Herrnhuter-Ansiedelung Gnadau aber deren eine ganze Anzahl besitze [67]. Der Schweizer Horner musste noch 1816 eine populäre Belehrung über den Gegenstand verfassen [68], weil das Volk die Aufrichtung vieler Blitzableiter im Kanton Zürich für die damals herrschende Theurung verantwortlich zu machen geneigt war. In interessantem Gegensatze zu diesen geschichtlichen Erinnerungen steht der gegen Ende des vorigen Jahrhunderts zwischen dem Orientalisten Michaelis und dem Physiker Lichtenberg gepflogene Briefwechsel [69] über die von Ersterem aufgeworfene Frage, ob die auf dem salomonischen Tempel angebrachten und — nach dem Berichte des Flavius Josephus — fein zugespitzten Metall-

Dache des Hauses wird eine Auffangstange angebracht und mit der Erde in leitende Verbindung gebracht; erstere wirkt aufsaugend auf die atmosphärische Elektricität, vermindert dadurch deren Gefahr bringende Menge und weist schlimmen Falles dem Blitze einen unschädlichen Weg an. Es ist aber wohl darauf zu sehen, dass die Leitung nicht an irgend einem Orte eine Unterbrechung zeige, weil sonst die schützende Wirkung des Blitzableiters in ihr Gegentheil verkehrt würde. Anweisungen zu der hierauf abzielenden galvanometrischen Prüfung der Leitungsdrähte ertheilen J. Müller [70] und Schellen [71]. Telegraphenleitungen werden vom Blitze gerne heimgesucht. Nicht minder trifft sein Schlag häufig einzelnstehende Bäume, deren Organismus dadurch meistens in unheilbarer Weise geschädigt wird. Wie diess zugeht, darüber haben neuerdings die Untersuchungen von Lakowitz Licht verbreitet [72]. Sowie der Blitz in den Baum einschlug, dehnt sich der elektrische Strom sofort über die ganze zwischen Rinde und Holzkörper befindliche, wasserreiche Kambiumschicht aus und bringt alle dort vorhandene Flüssigkeit zum raschen Verdampfen. Der so entwickelte Wasserdampf sprengt vermöge seiner hohen Spannung die Rinde an den am wenigsten widerstandsfähigen Stellen in langen Streifen ab. Die Wege, welche das elektrische Fluidum in einem von ihm getroffenen Objekte nimmt, zeigen oft den allerseltsamsten Verlauf; als z. B. in Krain der Blitz ein Getreidegerüste zerstörte, zweigten sich nach Deschmann's detaillirter Beschreibung vom Hauptstrahl nicht weniger als drei deutlich gesonderte Nebenblitze ab [73]. Aehnliches berichtet v. Yelin (Ueber den merkwürdigen Blitzschlag auf dem Kirchthurme zu Rossstall, München 1823).

An empirischen und theoretischen Vorschriften für die Anlage von Blitzableitern fehlt es nicht, doch stimmen dieselben wenig unter sich überein, und Zenger bezeichnet z. B. die von der Pariser Akademie ausgegangenen Regeln als völlig werthlos [74]. Er selbst schlägt (a. a. O.) die sogenannten symmetrischen Blitzableiter vor und räth, die Auffangstangen nicht in dünne Spitzen auslaufen zu lassen, sondern ein Ovoid und eine Kugel oben aufzuschrauben. Auf langjährige Erfahrungen stützte sich Karsten, als er [75] eine die besten Abmessungen vorstellende Tabelle konstruirte, welche wir nachstehend wiedergeben:

Schutz	Konstruktion in Eisen			Konstruktion in Kupfer		
	Gew. pro m in gm	Durchmesser in mm	Querschnitt in qmm	Gew. pro m in gm	Durchmesser in mm	Querschnitt in qmm
0—30 m	1200	14.1	156	250	5.9	28
30—40	1520	15.9	197	280	6.3	32
40—50	1900	17.7	247	350	7.1	39
50—60	2280	19.4	296	420	7.8	47
60—70	2660	21.0	346	490	8.4	55
70—80	3040	22.4	395	560	9.0	63
80 u. mehr	3420	23.8	444	630	9.6	71

stacheln wohl hätten dem Zwecke des Blitzschutzes dienen können. Lichtenberg ist nicht abgeneigt, vom physikalischen Standpunkte aus eine solche Möglichkeit zuzugeben, erhebt aber mehrere andere und wohl berechtigte Einwände.

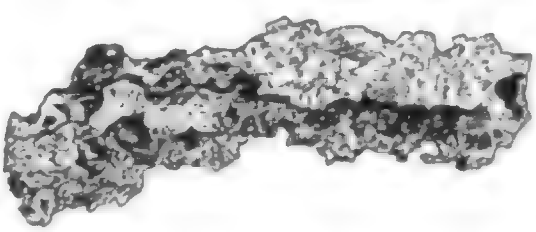
Auch weist Karsten (a. a. O.) nach, wie illusorisch das Beginnen Derjenigen ist, welche den metallenen Ableiter durch irgend eine andere Kombination ersetzen wollen.

Ueber das periodische Auftreten der Gewitter im Allgemeinen, sowie über dasjenige der zündenden Blitze im Speziellen verbreiten sich umfängliche Forschungen v. Bezold's. Dieselben berühren jedoch so nahe die im nächsten Kapitel zu behandelnden Materien, dass wir vorziehen, erstere auch dort erst in ihrem inneren Zusammenhange mit anderen Fragen zur Sprache zu bringen. — Spektra der Blitze haben Hoh und Kundt aufgenommen und beschrieben, worüber Schellen's ausführliche Darstellung nachzusehen ist [76]. Auch die Momentanphotographie (I. Band, S. 286) schickt sich an, durch Festhaltung der wahren Gestalt der Blitze diesem Theile der Meteorologie ihren Beistand zu leihen.

§. 7. **Blitzröhren.** So, oder auch Astrapyaliten, Fulguriten, Blitzsteine, Blitzsinter nennt man gewisse verästelte Konglomerate aus zusammengebackenem Sande, welche man nicht selten in der Erde findet. Nach Hellmann [77] gab ein gewisser L. D. Hermann zu Anfang des vergangenen Jahrhunderts die erste Charakteristik einer Blitzröhre [78]. Wenn freilich der Archäologe Böttiger Recht behielte [79], so wären schon die etrurischen Blitzwahrsager (fulguratores) mit diesen eigenthümlichen Gebilden vertraut gewesen, und ihr Geschäft des „condere fulmina" — „Aruns dispersos fulminis ignes colligit et terrae maesto cum murmure condit" heisst es bei Lucanus, I, 606 — hätte sich auf das Aufsuchen und Wiedervergraben derselben bezogen.

Dass die Blitzröhren nicht etwa ein willkürliches Naturspiel sind, sondern der Schmelzhitze des in den Erdboden eingedrungenen Strahles ihre Entstehung verdanken, bewies eine Vereinigung französischer Gelehrter (Hachette, Savart und Beudant) dadurch, dass sie einen Entladungsschlag durch leicht schmelzbare Stoffe, wie Glaspulver und Kochsalz, hindurchgehen liess und auf diese Art solche Röhren künstlich erzeugte [80]. Hoh war so glücklich, den eigentlich augenfälligen Beweis nachliefern zu können [81]; der Blitz hatte ein Haus getroffen und den weissen Sand, mit welchem der Estrich desselben bedeckt war, zu einer wirklichen Blitzröhre verschweisst. Unsere Fig. 42 stellt dieselbe nach Hoh's Zeichnungen dar.

Fig. 42.



§. 8. **Irrlichter.** Lediglich der geschichtlichen Tradition zu liebe, nicht weil wir selbst uns zu dieser Ansicht bequemten, besprechen wir unter den elektrischen Erscheinungen auch die sogenanten Irrlichter oder Irrwische („ignis fatuus", „feu follet"). Bis zum heutigen Tage ist unser Wissen von diesem Gegenstande kaum weiter gediehen, als damals, da Muncke seinen Artikel für die zweite Auflage des Gehler'schen Wörterbuches schrieb [82]. Haben sich doch selbst in neuerer Zeit noch Stimmen gegen die Realität der Erscheinung erhoben. Freilich ganz mit Unrecht; denn kein Geringerer als Bessel

trat für die Existenz der Irrlichter ein [83], und Hellmann erwähnt [84] der Irrlichtbeobachtungen von K. Heller, welche, wie der Verf. auch noch durch sein auf persönliche Unterredung sich stützendes Zeugniss konstatiren kann, zweifellos auf Autopsie beruhen. Wie bemerkt, erklärten sich die Gelehrten des vorigen Jahrhunderts mit Vorliebe für den elektrischen Ursprung dieses hüpfenden, unsteten Glimmlichtes, so zumal Gehler in der ersten Auflage des Lexikons und Volta, der dafür hielt [85], dass kleine Mengen von Phosphorwasserstoffgas, wie es sich in feuchten Gründen bilde, durch einen elektrischen Funken — woher sollte aber dieser kommen? — entzündet würden. Jedenfalls aber war diese Hypothese noch derjenigen Kastner's [86] vorzuziehen, der die Irrlichter als eine besondere Art von „Meteoren" betrachtet wissen wollte. Muncke und Chladni sprechen sich zu Gunsten phosphorescirender faulender und sich selbst zersetzender Substanzen aus [87], und der Letztere meint deshalb, dass man die bekannte Angabe, Fludd habe ein Irrlicht niedergeschlagen und dann eine gallertartige Masse am Boden gefunden, gerade nicht für eine Fabel zu halten brauche. Die Wissenschaft sollte dieser Frage wohl wieder etwas mehr Beachtung schenken.

[1] Hochheim, Otto v. Guericke als Physiker, Magdeburg 1872. S. 16. — [2] Waitz, Ueber atmosphärische Elektricität, Korrespondenzblatt f. d. Gel.- u. Realschulen Württembergs, 30. Jahrgang. S. 462 ff. — [3] K. J. Jordan, Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität, Gaea, 20. Jahrgang. S. 12 ff. S. 147 ff. — [4] Palmieri, Die atmosphärische Elektricität, deutsch von Discher. Wien-Pesth-Leipzig 1884. — [5] Waitz, Ueber atm. El., S. 464 ff. — [6] J. Müller. Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 735 ff. — [7] Ibid. S. 738 ff. — [8] Dellmann, Der Apparat von W. Thomson zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität, (Carl's) Repert. f. Experimentalphysik, 3. Band. S. 1 ff. — [9] Palmieri, Die atm. El., S. 9 ff. — [10] Ibid. S. 12 ff. — [11] Ibid. S. 16. — [12] Waitz, Ueber atm. El., S. 467. — [13] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 240. — [14] Duprez, L'électricité atmosphé- rique, L'Institut, 1872. S. 14 ff. — [15] Mühry, Ueber die Quelle der atmosphärischen Elektricität in geographischer und meteorologischer Auffassung, Zeitsch. d. ost Ges. f. Met., 8. Jahrgang. S. 131 ff. — [16] Palmieri, Die atm. El., S. 30. — [17] Ibid. S. 31. — [18] Peltier, Recherches sur les causes de l'électricité de nuages, Compt. rend. de l'acad. franç., tome XII. S. 307 ff. — [19] Lamont, Be schreibung der an der Münchener Sternwarte für Beobachtungen verwendeten neue Instrumente und Apparate, München 1851. S. 147 ff. — [20] Mühry, Die geo graphische Vertheilung der atmosphärischen Elektricität, Petermann's Geograph Mittheil., 1873. S. 295 ff. — [21] Lemström, Observations sur l'électricité de l'ai et de l'aurore boréale, Arch. des sciences phys. et nat., (2) Vol. XII. S. 147 ff. — [22] Giordano, Sulla origine della elettricità dell' atmosfera, Rendiconti del 'Isti tuto Lombardo, (2) Vol. V. S. 759 ff. — [23] Jordan, Ueber etc. S. 150 ff. — [24] Becquerel, Mémoire sur l'origine probable solaire de l'électricité atmosphé rique, Compt. rend. de l'acad. franç., tome LXXV. S. 1045. S. 1146. — [25] Fay Lettre à M. Becquerel, ibid. tome LXXV. S. 1155. — [26] W. Siemens, Ueber di Zulässigkeit der Annahme eines elektrischen Sonnenpotentiales und dessen Be deutung zur Erklärung terrestrischer Phänomene. Sitzungsber. d. k. pr. Akad. Wissensch., math.-phys. Kl., März 1883. — [27] K. J. Jordan, Zur Frage nac dem Ursprung der atmosphärischen Elektricität, Gaea, 20. Jahrgang. S. 257 ff. — [28] Zehnder, Ueber atmosphärische Elektricität, Dingler's polytechnisches Journa 249. Band. S. 395 ff. — [29] Zehnder, Ueber den Bau der Kometen, Kosmos, 1. Band. S. 186 ff. — [30] Saussure, Voyages dans les Alpes, Neufchâtel 1779—9 — [31] Pouillet, Sur l'électricité des fluides élastiques et sur une des causes d l'électricité de l'atmosphère, Ann. de chim. et de phys., Vol. XXXV. S. 401 ff. — [32] Riess, Die Lehre von der Reibungselektricität, 1. Band, Berlin 1853. S. 49 — [33] Waitz, Ueber atm. El., S. 470. — [34] Wettstein, Die Beziehung der Ele

tricität zum Gewitter, Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. zu Zürich, 14. Band. S. 60 ff. — [35] Jordan, Ueber etc. S. 90 ff. — [36] Palmieri, Die atm. El., S. 45. — [37] Ibid. S. 50. — [38] Ibid. S. 3 ff. — [39] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 4. Band, Zürich 1862. S. 261. — [40] v. Klenze, Elektrische Erscheinungen am Hochifen, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenvereins, 7. Band. S. 117 ff. — [41] J. Müller, Lehrbuch etc., S. 745 ff. — [42] Rohlfs, Die Oase Djofra, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 15. Band. S. 143 ff. — [43] B. Schmidt, Das Volksleben der Neugriechen und das hellenische Alterthum, 1. Theil, Leipzig 1871. S. 173. — [44] Waitz, Ueber atm. El., S. 475. — [45] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1883. S. 323. — [46] Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektricität des Gewitters und über die Wirkung der Blitzableiter, Kiel 1879. S. 10 ff. — [47] Jordan, Ueber etc., S. 85 ff. — [48] v. Danckelman, Regen, Hagel und Gewitter im indischen Ocean, Hamburg 1880. S. 27 ff. — [49] H. J. Klein, Tafel der mittleren jährlichen Gewitterhäufigkeit für 219 Orte, Petermann's Geogr. Mittheil., 1870. S. 427. — [50] Fritz, Tafel der mittleren Gewitterhäufigkeit, ibid. 1871. S. 115. — [51] v. Bezold-Lang, Beobachtungen der meteorologischen Stationen in Bayern, 1. Band, München 1880. S. XXXVII. — [52] v. Bezold, Die Untersuchungen über Gewitter in Bayern und Württemberg, Elektrotechnische Zeitschrift, Marzheft 1883. — [53] Rottée, Météorologie statistique des orages à grêle, des tempêtes, bourrasques, grêles et ouragans qui ont éclaté sur le territoire formant le département de l'Oise, Clermont 1866. — [54] Ferrari, Osservazioni dei temporali raccolte nel 1880, Milano 1880. — [55] C. Lang, Gewitterstudien in Italien, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19 Jahrgang. S. 353 ff. — [56] Ibid. S. 372. — [57] Mohn, Grundzüge etc., S. 316. — [58] Hoppe, Geschichte der Elektricität, Leipzig 1884. S. 36 ff. S. 42 ff. — [59] Palmieri, Die atm. El., S. 37. — [60] Waitz, Ueber atm. El., S. 476. — [61] H. J. Klein, Die Entstehung des Blitzes, Gaea, 19. Jahrgang. S. 590 ff. — [62] Arago, Annuaire du bureau des longitudes pour l'an 1838, S. 249 ff. — [63] Waitz, Ueber atm. El., S. 475. — [64] Jordan, Ueber etc., S. 86. — [65] Köhl, Ueber Kugelblitze, Gaea, 18. Jahrgang. S. 569 ff. — [66] Mohn, Grundzüge etc., S. 317. — [67] Bruhns, Alexander von Humboldt; eine wissenschaftliche Biographie, 1. Band, Leipzig 1872. S. 79. — [68] Horner, Bemerkungen über Blitzableiter, ihren Nutzen und Schaden, Zürich 1816. — [69] Lichtenberg's phys.-math. Schriften, 3. Band, ed. Kries. Göttingen 1804. S. 251 ff. — [70] J. Müller, Lehrbuch etc., S. 755 ff. — [71] Schellen, Der elektromagnetische Telegraph. Braunschweig 1867. S. 273 ff. — [72] Lakowitz, Ueber Blitzschläge in Bäume, Gaea, 20. Jahrgang. S. 187. — [73] Deschmann, Verlauf des Blitzes in einer Getreideharpfe, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19. Jahrgang. S. 376 ff. — [74] Zenger, Blitzableiter-Konstruktionen, Gaea, 20. Jahrgang. S. 168 ff. — [75] Karsten, Gem. Bem. etc., S. 29. — [76] Schellen, Die Spektralanalyse, Braunschweig 1870. S. 477 ff. — [77] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883. Sp. 198. — [78] L. D. Hermann, Maslographia, Brieg 1711. — [79] Böttiger, Einiges aus dem Alterthum über Blitzröhren, Gilbert's Ann. d. Phys., 12. Band. S. 317 ff. — [80] Versuche über die Bildung von Blitzröhren, Ann. d. Phys. u. Chem., 13. Band. S. 117 ff. — [81] Hoh, Merkwürdiger Blitzschlag, ibid. 131. Band. S. 494 ff. — [82] Gehler's physikalisches Worterbuch, 2. Auflage, 5. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1830. S. 790 ff. — [83] Bessel's Abhandlungen, herausgeg. von Engelmann, 3. Band. Leipzig 1867. S. 267. — [84] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883. Sp. 188. — [85] Volta, Lettere sull' aria inflammabile nativa delle paludi, Como 1776. — [86] Kastner, Handbuch der Meteorologie, 1. Band. Erlangen 1823. S. 416 ff. — [87] Chladni, Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und einige ähnliche Eisenmassen, Leipzig 1794. S. 334.

Kapitel V.

Kosmische Meteorologie.

§. 1. **Astrometeorologie im Allgemeinen.** Für jenen Wissenschaftszweig, der die Einflüsse der Himmelskörper auf die Bewegungen unserer Lufthülle und auf die irdischen Witterungsverhältnisse unter-

sucht, war früher allseitig der Name Astrometeorologie im Gebrauche, welchen ein Hauptvertreter der — in jener Zeit freilich nur eine Afterwissenschaft darstellenden — Disciplin, Goad, für zwei umfangreiche Werke wählte [1]. Der Name kosmische Meteorologie, den Faye vorschlug [2], ist in mehr denn einer Hinsicht bezeichnender. Da die thermische Wirkung der Sonne, als der allseitig anerkannte wichtigste Faktor, nicht in Betracht kommen kann, so ist lediglich zu prüfen, ob die Fixsterne, die Planeten, die Kometen und Meteorite, der Erdmond und endlich die Sonnenfleckenfrequenz namhafter meteorologischer Einwirkungen fähig sind. Im Zusammenhange hat der Verf. früher die Gesammtheit der hiemit signalisirten Fragen einer Besprechung zu unterziehen gesucht [3], und gerade aus diesem Umstande glaubt er einen Berechtigungsgrund herleiten zu dürfen, sich an diesem Orte kürzer zu fassen.

Dass die Fixsterne auch vom Meteorologen sorgfältig beobachtet werden müssten, war ein Glaubenssatz aller Astrologen, so namentlich auch — nach Sayce und Häbler — der babylonischen und assyrischen [4]. Noch im Jahre 1722 fand es ein gewisser Nikius für nothwendig, in einer recht guten Dissertation [5] gegen diese auch von Kepler noch theilweise gebilligten Phantasmen zu Felde zu ziehen. Der meteorologische Planetenaberglaube fand sein Ende mit den Schriften F. A. Schneider's [6], aus denen ein Fleiss spricht, welchen man lieber einem besseren Ziele zugewandt sehen möchte. Die Kometen standen bis in die neueste Zeit in dem Rufe, das zum Gedeihen des Weinstockes erforderliche warme Wetter mit sich zu bringen *). Dass die Vermischung unserer Atmosphäre mit kometarischer Materie nicht einmal von besonderen Folgen begleitet ist, scheint aus der zuerst von Pogson in Madras und nachher auch von Klinkerfues bemerkten Thatsache hervorzugehen, dass Ende November 1872 unser Erdplanet wirklich durch den Schweif des Biela'schen Kometen (I. Band, S. 71) hindurchgieng [8], und um so weniger ist es wahrscheinlich, dass solche Schweifsterne, die Millionen von Kilometern von uns entfernt bleiben, sich irgendwie bemerklich machen können. Aus diesem Grunde wird es wohl auch wenig Anklang finden, dass Grablowitz [9] eine barometrische Tagesschwankung von auffallend kleiner Amplitude, welche sich durch mehrere Jahre erhalten haben soll, mit dem Durchgange eben jenes Kometen von Biela durch Perihel und Knoten in Verbindung bringen wollte. Die Meteorschwärme spielen wenigstens in der Geschichte der Witterungskunde eine etwas einflussreichere Rolle. Von der theoretisch richtigen und schon im I. Bande (S. 84) gewürdigten Bemerkung Pilar's [10], dass durch die in unsere Atmosphäre eindringenden und sie streifenden Meteorite erstere an Volumen verliere, soll natürlich hier nur der Vollständigkeit wegen die Rede sein; weit wichtiger ist, dass A. Erman die fast regelmässig in der dritten Pentade des Mai einfallende Temperaturerniedrigung

*) A. v. Humboldt sagt hierüber [7]: „Es ist in deutschen Gauen, in den anmuthigen Thälern des Rheines und der Mosel, die Meinung erhalten, diese Gestirne zeigten sich in besonders guten Weinjahren; namentlich der grosse Komet von 1811 sollte einem berühmten Tranke zum Dasein verholfen haben. Entgegengesetzte Erfahrungen haben den Glauben an jene meteorologische Mythe, an das Dasein wärmestrahlender Irrsterne, nicht erschüttern können."

auf die um die Sonne kreisenden Meteorschwärme zurückführte [11]. In jenen Tagen sollten, seiner Meinung zufolge, die kosmischen Körperchen gerade zwischen Erde und Sonne treten und, auf letztere projicirt, eine partielle Abschwächung der von ihr ausgehenden Wärmestrahlen bewirken. Man ist um so mehr von dieser etwas künstlichen Hypothese zurückgekommen, als es, wie sich im nächsten Kapitel zeigen wird, gelang, eine einfachere und nur mit terrestrischen Einflüssen rechnende Erklärung jener aussergewöhnlichen Wärmedepression zu erbringen.

Nur in sehr übertragenem Sinne könnte eine meteorologische Einwirkung der uns näheren und der an Masse überwiegenden Planeten unseres Systemes dann anerkannt werden, wenn diejenigen das Richtige träfen, welche (vgl. I. Band, S. 65) die wechselnde Bedeckung der Sonnenoberfläche mit Flecken und Fackeln von einer Gravitationswirkung der Venus, des Jupiter u. s. w. ableiten wollen. An anderem Orte ist auf das Missliche und Schwankende dieser auf den ersten Blick ja recht plausibel erscheinenden Theorie aufmerksam gemacht worden [12]; zu den im ersten Bande gegebenen Literaturnachweisen ist noch eine Abhandlung von Lamey [13] nachzutragen.

§. 2. **Der Mond als meteorologischer Faktor.** Es giebt wohl kaum eine so fest in weiten Kreisen wurzelnde und so schwer ausrottbare Ueberzeugung, wie die, dass der Mond das Wetter mache, dass insbesondere jeder Mondwechsel mit einem Witterungswechsel verbunden sei. Die römischen Dichter und Ackerbauschriftsteller, in erster Linie Vergil und Columella, bemühen sich, diese Volksdoktrin in praktische Regeln zu fassen, und in ganz ernster wissenschaftlicher Form erscheint dieselbe, nachdem sie das ganze Mittelalter hindurch kaum einen Angriff zu bestehen gehabt hatte, in dem astrometeorologischen Schriftchen des Nürnberger Mathematikers Johannes Werner [14]. Als man anfieng, exakte Untersuchungsmethoden auch in die Meteorologie hineinzutragen, musste man sich natürlich die Frage vorlegen, ob denn wirklich ein solcher Einfluss des Mondes anzuerkennen und auf welcherlei Kraftäusserungen derselbe wohl zu beziehen sei. An dreierlei solche Agentien hat man ein Recht zu denken.

a) **Die Wärmewirkung des Mondes.** Dass wir vom Monde keine fühlbare Wärme zugesandt erhalten, wussten bereits die alten Inder, welche deshalb den Mond den „kaltstrahlenden" nannten, und diese seine Eigenschaft wird auch ausdrücklich von Plutarch und von Macrobius anerkannt [15]. Dass es durch verfeinerte Instrumente gleichwohl möglich war, schwache Anzeichen von Wärme dem Mondlichte zu entlocken, haben wir im I. Bande (S. 112 ff.) schon gesehen. Immerhin muss der Meteorologe es als denkbar einräumen, dass die Wärmestrahlen des Mondes erst durch atmosphärische Absorption zum Verschwinden gebracht werden, und dass dieselben in den oberen Schichten unserer Lufthülle eine gewisse Rolle spielen. J. Herschel und Buys-Ballot haben deshalb, wie H. J. Klein ausführt [16], einen Zusammenhang zwischen den Mondstellungen und der Bewölkung für wahrscheinlich angenommen, Ellner's zehnjährige und speziell auf die Erforschung dieses Zusammenhanges abzielende Be-

obachtungen hätten aber einen solchen nicht ergeben. Alles in Allem: Ein irgendwie kontrolirbares meteorologisches Element ist die kalorische Aktion des Mondes in keiner Weise.

b) **Die elektrisch-magnetische Wirkung des Mondes.** Dass eine solche vorhanden sei, kann nach den in Kap. II der vierten Abtheilung angeführten Untersuchungen von Kreil und Anderen nicht in Zweifel gezogen werden, ob aber die Meteorologie auf diese Wechselbeziehung Rücksicht zu nehmen habe, muss zur Zeit noch als eine offene Frage gelten. Kreil selbst schien geneigt [17], den von ihm nicht geleugneten Wärme-Einfluss des Mondes mit der Aktion der Imponderabilien in Verbindung zu bringen. Dass die Gewitter in ihrer Häufigkeit dem Mondlaufe unterworfen seien, hat der Chemiker Lampadius behauptet, nicht aber bewiesen [18].

c) **Die Schwerewirkung des Mondes.** Im I. Bande (S. 400 ff.) war davon die Rede, dass Falb und Perrey die vulkanischen und seismischen Erscheinungen durch die Anziehung zu erklären versuchten, welche Sonne und Mond auf das feuerflüssige Erd-Magma ausüben sollen, und im IV. Kapitel der nächsten Abtheilung hat die zweifellos feststehende Zurückführung des Gezeitenphänomenes auf analoge Gravitationswirkungen zur Sprache zu kommen. Nachdem man somit Newton's kosmologisches System zur Verfügung und nachdem man sich ferner durch Reisen überzeugt hatte, mit welch' regelmässiger Periodicität in manchen Ländern die Schwankungen des Luftdruckes eintreten, lag es nahe, den Mond als Erzeuger einer atmosphärischen Ebbe und Fluth gelten zu lassen und bei jedem Witterungsereignisse zu fragen, ob sich dasselbe nicht einfach aus der Annahme einer zweifachen, in je 24 Stunden die Erde umwandernden Luftfluthwelle ergebe. Von der schwächeren Anziehung der Sonne konnte man dabei für's Erste Abstand nehmen, wie denn nach Schiaparelli's Rechnungen in gemässigten Klimaten in der That die Kraft des Mondes zur Herbeiführung meteorischer Umwälzungen siebenmal grösser ist, als diejenige der Sonne [19]. Jenes Instrument, welches zur Messung der Luftdruckschwankungen dient, ist, wie wir aus Kap. I wissen, das Barometer. Allerdings waren sich Diejenigen, welche statistisch die Abhängigkeit des Barometerstandes von den Mondphasen zu erforschen strebten, nicht immer ganz klar, wie eine solche Beziehung zahlenmässig zum Ausdrucke kommen müsste, und selbst heute noch bedarf der theoretische Theil dieser Frage noch weiterer Aufklärung*).

Zuerst machte sich Segner an die Arbeit und fand durch eine allerdings nicht völlig exakte Integration der bereits in Newton's „Principien" aufgestellten Differentialgleichungen, dass der Kulmination des Mondes ein tieferer Barometerstand entspreche [21]. D'Alembert stellte in seiner von der Pariser Akademie gekrönten Windtheorie jede beliebige Luftströmung als eine Konsequenz der vom Monde ausgehenden Schwerewirkung hin [22] und musste sich dieser-

*) Es scheint nämlich, dass bei'm Herannahen des Wellenberges zuerst eine radiale Auflockerung der Luft und damit ein leichtes Sinken des Barometers eintreten muss, während nachher die heranwogenden Luftmassen auf das Quecksilber drücken und dasselbe in der Rohre zum Steigen bringen [20].

halb den scharfen Tadel Daniel Bernoulli's gefallen lassen [23]. Auf Segner's und D'Alembert's Seite stellten sich Kratzenstein, Cotte, Sigaud de la Fond, Lamarck, Cassan und Mann, während Sigorgne sich mehr neutral verhielt, Frisi, Kies und Lambert die Zuverlässigkeit des von ihren Gegnern angewandten Verfahrens dagegen entschieden bestritten [24]; zumal der Letztere zieht das Schlussfacit seiner mühsamen rechnerischen Untersuchung dahin [25], dass dasselbe einer Verwerthung sowohl im positiven wie im negativen Sinne fähig sei. In ein neues Stadium trat die Angelegenheit, als Laplace die Berechnungsformeln in bisher ungeahnter Weise verfeinerte [26], und auf jene gestützt, gelangten die beiden Bouvard [27] zu dem Schlusse, dass der Spielraum der auf lunaren Gravitationszug zurückzuführenden barometrischen Oscillationen nur 0,018 mm — also eine unter den sonstigen Unregelmässigkeiten der Luftdruckvertheilung völlig verschwindende Grösse — betrage. Diese Abkühlung war aber um so nothwendiger, als kurz vorher der Italiener Toaldo in seiner Agrarmeteorologie auf die Voraussetzung erkennbarer atmosphärischer Lunargezeiten*) ein förmliches Lehrgebäude begründet hatte [28], das nur zu viele Freunde fand. Im neuen Jahrhundert war man vielleicht etwas zu sehr geneigt, die Mondeinflüsse gänzlich zu leugnen, zu welch' allzu radikaler Auffassung namentlich die mit den exakten Mitteln der höheren Wahrscheinlichkeitsrechnung arbeitenden Abhandlungen von Flaugergues [29], Eisenlohr [30] und Streintz [31] beitrugen, doch kam durch Lubbock, Sabine, Neumayer, Elliot — also durch Leute, die auch mit den Verhältnissen der Tropenzone bekannt waren — und zumal durch Knorr [32] auch die gegentheilige Ansicht wieder zu Ehren, und zwar in jenem verständig beschränkten Sinne, dass im Monde zwar nicht der einzige oder doch wichtigste Faktor, aber doch einer der regulirenden Faktoren anerkannt ward**). Einzelne Uebertreibungen liefen dabei natürlich mit unter, so dass vor Allem Schübler's rege meteorologische Thätigkeit doch keine wirklich nutzbaren Früchte zu Tage förderte, weil sie allüberall nur Manifestationen des Mondes nachspürte***). — Neuerdings haben sich die rationellen Versuche Derjenigen gemehrt, welche einzelne Witterungselemente für sich betrachteten und mit den Mondstellungen verglichen. So haben K. Lindemann [37] für die Wind-

---

*) Da dem sogenannten Meton'schen Cyklus gemäss 19 Sonnenjahre und 235 Mondmonate annähernd das gleiche Zeitmaass ausmachen, da mithin nach Umfluss von 19 Jahren die gegenseitigen Stellungen von Sonne und Mond in der nämlichen Ordnung und Reihenfolge wiederkehren, so glaubte Toaldo ein Gleiches auch für die Witterung annehmen und die Existenz eines „Saros météorologique" verkünden zu dürfen.

**) Minder bekannt scheint zu sein, dass v. Hoff einer der Ersten war, die in den täglichen Oscillationen des Luftschweremessers deutlich die atmosphärische Ebbe und Fluth sich abspiegeln sahen [33].

***) Schübler hat seine Lehren in einer besonderen Schrift [34] und in einer sehr grossen Anzahl von Einzelaufsätzen niedergelegt, welche aber sammt und sonders das Gepräge der Einseitigkeit und wissenschaftlichen Voreingenommenheit an sich tragen. Besonders deutlich tritt dieser ihr Charakter hervor in seinem Versuche [35], aus Gronau's sehr vernünftig gearbeiteter Mondphasenstatistik [36] Kapital für seine Zwecke zu schlagen, denn er muss gestehen, dass sich für keine Mondphase die Wahrscheinlichkeit angeben lässt, es werde ihr eine bestimmte Witterungsform entsprechen.

richtungen, Leyst [38] für die Windgeschwindigkeiten, Rikatscheff [39] für die Windstärken, Schiaparelli (in der oben citirten Monographie) für den Heiterkeitsgrad des Himmels den lunaren Mit-Einfluss nachgewiesen, wogegen wieder Zenger's Behauptung [40], dass Jahrestemperatur und Mittelwerthe des Luftdruckes eine von der veränderlichen Schiefe der Mondbahn abhängige $9^1/_4$ jährige Periode aufzuweisen hätten, in ihrem Bestreben, sehr viel beweisen zu wollen, zu wenig beweist.

Wenn wir dazu übergehen, unser Gesammturtheil über Dasjenige, was wir von den Beziehungen der Mondfluth zu den wirklichen meteorologischen Veränderungen wissen, in einer These zusammenzufassen, so thun wir diess mit jenen Worten, welche uns bereits früher zu diesem Zwecke gedient, und gegen welche sich Seitens der Fachmänner noch kein Widerspruch erhoben hat. Die These lautet [41]: Die lunarischen Gezeiten sind nicht stark genug, um erhebliche Veränderungen im Bewegungszustande unserer Lufthülle von sich aus zu bewirken, wohl aber stark genug, um schon vorhandene Bewegungszustände leicht unterstützend oder hemmend zu beeinflussen und auch unter günstigen Verhältnissen, wie sie sich etwa zwischen den Wendekreisen darbieten, messbare Oscillationen des Barometerstandes hervorzubringen.

Kaum entschieden genug kann man, wenn die Verhältnisse so liegen, gegen die Aspirationen Jener auftreten, die ausschliesslich auf die Bewegungen des Mondes ein System meteorologischer Tagesprognosen zu begründen wagen. Was in etwas früherer Zeit Sofka und Mathieu de la Drôme wollten, unternahm in jüngster Zeit in grösserem Maassstabe Overzier zu leisten, der jedoch — von einer kleinen Ankündigungsschrift [42] und den Vorreden seiner Prognosenhefte abgesehen — beharrlich über die von ihm eigentlich befolgten methodischen Hülfsmittel und Regeln zu schweigen liebt. Bei dieser Sachlage muss man sich an die Resultate halten, und diese waren bis jetzt wenigstens keine sehr glänzenden, wie denn v. Bezold's unter Anwendung strenger Kautelen vorgenommene Prüfung für Juni und Juli 1883 und für München bezüglich 30 und 39 Procent Treffer ergab [43], während 50 Procent doch allermindestens zu fordern gewesen wären. Und wenn Overzier allerneuestens den schlagenden Nachweis für erbracht hält [44], „dass auch das procentische Zutreffen der Prognosen den strengsten Anforderungen wissenschaftlicher Kritik vollauf genügt," so dürfte er mit dieser seiner Zuversicht ziemlich allein stehen. Leider ist auch Falb's geachteter Name durch dessen spätere Veröffentlichungen [45] nur zu enge mit abenteuerlichen Spekulationen über den Ausschlag gebenden Einfluss der Mondgezeiten in der Witterungskunde verknüpft.

§. 3. **Die Sonne als meteorologischer Faktor.** Wenn der Mond gravitirend auf unsere Atmosphäre wirkt, so gilt ein Gleiches auch für die Sonne, doch haben wir oben schon gesehen, dass unter sonst gleichen Umständen die Sonnenfluth weit geringer ausfallen muss, als die Mondfluth, und höchstens dann wird eine gegenseitige Verstärkung eintreten, wenn die Mittelpunkte der drei betheiligten Weltkörper

(Sonne, Erde, Mond) in eine und dieselbe gerade Linie zu liegen kommen. In eigenartiger Weise versuchte Lamont die attraktive Wirkung des Sonnenkörpers in Verbindung zu bringen mit seinen — uns aus Kap. I und III der vorigen Abtheilung bekannten — Ansichten über die Quelle des Erdmagnetismus; er konstatirte ausdrücklich, dass die atmosphärischen Tiden durch die Anziehung „oder eine der Anziehung analoge Kraft“ der Sonne hervorgebracht würden [46]. Hornstein verfolgte, ohne jedoch zu überzeugenden Ergebnissen durchzudringen, den von Lamont hingeworfenen Gedanken näher [47], und es erscheint nicht unwahrscheinlich, dass auch schon Leopold v. Buch Aehnliches im Sinne hatte, als er in einer weit früheren Zeitperiode sich dahin vernehmen liess [48]: „Ich schliesse, dass die Barometerhöhe und deren Veränderung nicht von dem Zustande der Oberfläche unserer Erde abhängt, sondern dass ihre Ursache weiter zu suchen ist, und dass sie, gleich den Jahreszeiten, den Tageszeiten, dem Mondlaufe u. s. w., kosmische Wirkungen sind.“

Jedermann weiss, und die klimatologischen Kapitel dieser Abtheilung werden uns darüber des Weiteren belehren, dass die Sonnenwärme in ihrer mit den Stunden und Jahren wechselnden Intensität fast souverän den Gang der Witterung regulirt. Späterhin haben wir blos die ungleiche Stellung der Erde gegenüber den auftreffenden Sonnenstrahlen in's Auge zu fassen, hier ist der Ort, der Frage näher zu treten, ob die Sonne selbst zu allen Zeiten gleichviel Wärme ausstrahlt. Auch diese Frage ist noch eine doppelte, je nachdem man von der Fleckenbedeckung absieht, oder nicht. Von dem ersten Theile der Frage zu reden, sind wir eigentlich erst seit den im Laufe des Jahres 1883 mit Hülfe einer Thermosäule und eines feinen Galvanometers vorgenommenen Messungen Frölich's [49] berechtigt, da erst durch diese die von Pouillet allerdings angebahnte Pyrheliometrie eine feste Form gewann. Auch Langley hat Beiträge hiefür geliefert, indem er mit seinem Bolometer die Veränderungen im Leitungswiderstande dünner Drähte durch die Erwärmung maass. Vogel bestritt jedoch Frölich's Behauptungen mit so guten Gründen [50], dass zur Zeit dieselben noch keineswegs als wissenschaftlicher Faktor anerkannt werden dürfen. Jedenfalls aber scheint durch diese Messungen soviel bewiesen zu sein, dass die beiden Theile, in welche wir unsere obige Frage zerlegten, sehr nahe in einander greifen, und dass zwischen der Variation der Sonnenwärme und derjenigen der Fleckenbedeckung ein — in seinen Einzelheiten uns freilich noch unbekannter — Zusammenhang besteht. Möglicherweise hängt auch hiemit die, wie es scheint, verbürgte und neuerdings von Fritz einlässlich erörterte Thatsache zusammen, dass die Werthe der drei Hauptaxen des dreiaxigen Sonnenellipsoides keine konstanten sind, sondern bald ein wenig zu- und dann wieder ein wenig abnehmen, wogegen von jener säkulären Verkleinerung des Sonnendurchmessers, welche Maskelyne angeblich gefunden hatte, im Ernste nicht gesprochen werden zu dürfen scheint [51].

§. 4. **Die meteorologische Bedeutung der Sonnenfleckenfrequenz.** Wir wissen aus dem I. Bande (S. 61 ff.) und aus Kap. II, §. 7 der vorigen Abtheilung, dass die Relativzahlen, welche den momentanen

Stand der Fleckendichtigkeit auf der Sonne ausdrücken, mit den für die Variationen der erdmagnetischen Elemente charakteristischen Relativzahlen in einer festen Beziehung stehen: beide sind Perioden von gleichem Anfangstermin und von nahezu gleicher Amplitude unterworfen, unter welchen am Deutlichsten eine Periode von 11,11 Jahren hervortritt. Angesichts dieses Umstandes ist gewiss die Frage gerechtfertigt: Welche meteorologische Elemente sind es, in denen sich zur Zeit eine wie immer beschaffene Einwirkung der Sonnenfleckenperiode erkennen lässt, und wie spricht sich diese Einwirkung nach Zahl und Maass aus? Um hierauf eine zutreffende Antwort geben zu können, sollen die einzelnen meteorologischen Faktoren nach einander aufgeführt und auf ihre Eigenschaft nach der bewussten Seite hin geprüft werden. Gewiss haben diese Untersuchungen sehr viel Reiz für den ebenso, wie mit ruhigem Forschersinn, so auch mit einiger Phantasie ausgestatteten Meteorologen, doch ist es hier nicht möglich, tiefer in die Sache einzugehen, und zudem findet der Leser in den Schriften von Fritz [52] und Hahn [53] alle Materialien mit Emsigkeit gesammelt und mit Geschick diskutirt vor*). Einige Andeutungen müssen genügen.

a) **Meteorologisch-optische Erscheinungen.** Nach Tromholt treten Sonnenhöfe und Nebensonnen dann am häufigsten auf, wenn die Sonnenflecke ihr Maximum erreichen; Fritz glaubt für ein solches Zusammentreffen auch theoretische Gründe anführen zu können [57].

b) **Bewölkung.** Dass die Häufigkeit der Cirruswolken derjenigen der Sonnenflecke parallel geht, hat H. J. Klein [58] sehr wahrscheinlich gemacht. Wenn wir uns nun erinnern, dass wir in §. 18 des dritten Kapitels die Entstehung der Nebensonnen aus den hoch oben schwebenden Eisnadeln, resp. aus der in diesen stattfindenden Lichtbrechung ableiteten, so sind offenbar a) und b) in einen Kausalzusammenhang mit einander gebracht.

c) **Gewitter.** Das Vorkommen von Gewittern und Nordlichtern erklärte v. Bezold in seinen ersten Studien [59] über diesen Gegenstand für ein sozusagen reciprokes, insoferne gewitterreiche Jahre nordlichtarmen entsprächen und umgekehrt. Die Gewitterkurve schmiegte sich weder derjenigen der Fleckendichtigkeit, noch auch derjenigen der Temperatur vollständig an, sondern lag zwischen beiden mitten inne. Nachdem ferner Guttwasser [60] für das Königreich Sachsen und

---

*) Im Gegensatze zu unserer mehrfach angeführten Monographie, in welcher nicht gut anders verfahren werden konnte, schliessen wir vorläufig von unserer Betrachtung alle Erscheinungen aus, welche nicht der Meteorologie im eigentlichen Wortsinne zuzuzählen sind, und behalten uns vor, denselben je in dem ihnen der Sache nach entsprechenden Spezialkapitel ein paar Worte zu widmen. So fehlen hier die Beziehungen zwischen Sonnenfleckenfrequenz einerseits und zwischen Wasserständen, Ueberschwemmungen, Gletscher- und Meereisverhältnissen andererseits. Von den Polarlichtern handelte Kap. IV der vorigen Abtheilung, von den Pfeilerschwankungen Band I (S. 387). Nur dessen sei gedacht, dass Hahn [54], auf Grund von Arbeiten des Zoogeographen F. Köppen und mit Zustimmung des Meteorologen W. Köppen, in der Frequenz der Heuschrecken-Invasionen ein der Fleckenfrequenz analoges Steigen und Fallen konstatirte. Die Heuschrecken-Züge Algerien's untersuchte Brocard [55], der jedoch fand, dass mit dem Vorschreiten der Pflanzenkultur — seit 1837 wurden in jener Provinz 47429 französische, 2636 einheimische und 65087 australische Bäume angepflanzt [56] — die Verheerungen jener gefürchteten Thiere immer geringer wurden.

Holtz [61] für Preussen die mit der Zeit deutlich variirende Gefahr der Blitzschläge in Untersuchung gezogen hatten, nahm v. Bezold die entsprechende für das Königreich Bayern vor [62], für welches die Akten der königlichen Brandversicherungskammer Material von anderwärts kaum zu erhaltender Zuverlässigkeit darboten. Allerdings ist, wenn man die Kurve der zündenden Blitze derjenigen der Wolf'schen Relativzahlen so zur Seite stellt, wie es eben v. Bezold thut, die Thatsache unverkennbar, dass für den nämlichen Spielraum, welchen zwei successive relative Ordinatenminima der letzteren Kurve bestimmen, jeweils zwei Ordinatenmaxima der ersteren — statt eines einzigen — sich geltend machen, doch ist v. Bezold nicht abgeneigt [63], diese doppelte Periodicität auf die gleichzeitig von der Sonne ausgehenden thermischen und elektrischen Kraftäusserungen zurückzuleiten.

d) **Hagelfälle.** Hahn wies zuerst [64] auf ältere Versuche hin, eine Periode der Hagelschläge zu eruiren. Fritz glaubt in der That eine (5 . 11 =) 55jährige Wiederkehr besonders starker und besonders schwacher Hagelperioden aufgefunden zu haben [65].

e) **Luftdruck, Winde und Stürme.** Eine solche Abhängigkeit von der Sonnenfleckenperiode, wie sie zu erwarten gewesen wäre, hat sich durch die Untersuchungen von Hornstein (s. o.) und Hahn [66] nicht herausgestellt, die Periode schien vielmehr eher 69 Jahre zu umfassen. Dagegen spricht sich nach Blanford und Hann [67] in der Vertheilung des mittleren Luftdruckes über dem hinterindischen Tropengebiete deutlich eine elfjährige Schwankung so aus, dass mit dem Druckmaximum ein Fleckenminimum korrespondirt. Endlich ist durch Meldrum [68], an den sich Poëy und Piddington anschlossen, ein Parallelismus zwischen der Fleckenhäufigkeit und dem Vorkommen der Drehstürme in den davon gewöhnlich betroffenen Meeren (indischer Ocean, chinesische See, Golf von Mexiko) ausser Zweifel gesetzt worden *).

f) **Hydrometeore.** Fritz urtheilte vor sechzehn Jahren, dass dieses meteorologische Element sich als durchaus unabhängig von der stärkeren oder minder starken Verhüllung der Photosphäre der Sonne erweise [70]. Celoria, Allan Broun, Whipple u. A. äussern sich im gleichen Sinne, und Hunter's sonderbare Behauptung, dass sich in den Missernten und Hungersnöthen Indiens die Fleckenperiode auspräge, ist von Blanford und Moigno unschwer ad absurdum geführt worden [71].

g) **Ozongehalt der Luft.** Moffat wollte gefunden haben, dass der Ozongehalt der Atmosphäre zu- und abnehme, je nachdem die Sonnenflecke einem Maximum oder Minimum ihrer Frequenz zustreben. Hiemit stimmen nach Fritz [72] zwar die ozonometrischen Messungen von Greiz und Zwickau, nicht aber diejenigen von Emden und Klagenfurt überein.

h) **Temperaturverhältnisse.** In diesem meteorologischen Elemente sollte, wenn überhaupt die Annahme dieses Paragraphen eine innere Berechtigung besitzt, die Wechselbeziehung sich am Kräftigsten offen-

*) Der böhmische Physiker Zenger will durch zahlreiche photographische Aufnahmen der Sonne konstatirt haben, dass die Stürme in der Photosphäre, welche gewisse Gegenden der Sonne mit Vorliebe heimsuchen, in ihrer zeitlichen Anordnung sich ganz ähnlich verhalten, wie es auch die Stürme der Tropenzone thun [69].

baren *). Es ist wahr, man war über das Wie dieser Aeusserung lange im Unklaren; W. Herschel glaubte, dass fleckenreichere, Gautier glaubte, dass fleckenärmere Jahre eine erhöhte Mitteltemperatur aufweisen müssten, allein obwohl Ersterer sogar die Getreidepreise zu diesem Zwecke mit einander verglich, liess sich doch keine von beiden Aufstellungen exakt beweisen [73], ja Wolf konnte auf Grund des von beiden Forschern benützten Materiales sich sogar der Auffassung nicht verschliessen [74], dass das XVIII. Jahrhundert mehr für Herschel, das XIX. mehr für Gautier spreche. Neuere Untersuchungen von Hahn, Main, Baxendell u. A. haben denn auch im Sinne Gautier's die Vermuthung nahe gelegt, dass die Sonne dann, wenn sie eine energischere fleckenbildende Thätigkeit ausübt, auch mehr Wärme ausstrahlt, und W. Köppen ermittelte [75] durch die graphische Darstellung, dass in Wirklichkeit nicht nur die elfjährige Periode, sondern auch so manche andere — für die ältere Zeit eine solche von 120, für die neuere von 45 Jahren — in den Temperaturmitteln sich wiederspiegelt. —

So erfreulich und interessant diese Ergebnisse auch sind, so wenig berechtigen sie noch zu weitgehenden Schlüssen; sind sie doch fast sämmtlich nur auf statistisch-vergleichendem Wege gewonnen und theoretischer Begründung fast völlig baar. Nichts kann die meteorologische Wissenschaft mehr diskreditiren, als „ungezügelte Periodenjagd" **), während auf der anderen Seite ein planmässiges und reservirtes Vorgehen auf dem betretenen Wege der kosmischen Meteorologie einen geachteten Platz innerhalb der Gesammtwissenschaft zu sichern verspricht.

[1] Goad, Astrometeorologia or aphorisms and discourses of the celestial bodies, their natures and influences, London 1686; Astrometeorologia sana, ibid. 1690. — [2] Faye, Sur la météorologie cosmique, Annuario della soc. met. Ital., Vol. I. S. 266 ff. — [3] Günther, Der Einfluss der Himmelskörper auf Witterungsverhältnisse, Nürnberg 1884. — [4] Häbler, Astrologie im Alterthum. (Ohne Druckort) 1879. S. 6 ff. — [5] Nikius, Demonstratio, astrologiam meteorologicam systemati mundi physicogeometrico esse contrariam, Vitebergae 1722. — [6] F. A. Schneider, Astrometeorologie, Berlin 1850; weitere Begründung der Astrometeorologie, ibid. 1851. — [7] A. v. Humboldt, Kosmos. 1. Band. Stuttgart und Augsburg 1854. S. 119 ff. — [8] Mädler, Populäre Astronomie, 8. Auflage, bes. v. Klinkerfues, Strassburg 1882. S. 748 — [9] Grablowitz, Andamento annuo della temperatura a Trieste e sua escursione diurna, Ann. della soc. met. Ital., Vol. I. S. 356. — [10] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 200. — [11] Erman, Ueber einige Thatsachen, welche es wahrscheinlich machen, dass die Asteroiden der Novemberperiode sich im Mai jeden Jahres zwischen der Sonne und der Erde auf dem Radius-Vektor der letzteren befinden, Astron. Nachr., Nr. 1839. — [12] Günther, Der Einfluss etc., S. 36. S. 64. — [13] Lamey, Sur la théorie de la périodicité undécennale des taches du soleil, Compt. rend. de l'acad. franç.,

*) Bald nachdem Galilei mit Hülfe des neuen Fernrohres die Sonnenflecke aufgefunden hatte, wandte sich Baliani — wir verdanken diese Mittheilung Herrn Dr. E. Wohlwill in Hamburg — an seinen berühmten Freund mit der Anfrage, ob nicht die neue Entdeckung auch für die Bestimmung der Witterung sich ausnützen lasse.

**) Hierher würden wir z. B. es rechnen, wenn ein hervorragender Nationalökonom, wie Jevons, sogar die Welthandelskrisen — wir entnehmen diese Notiz der uns von früher bekannten Schrift Czerny's [76] — an die Fleckenfrequenz der Sonne anknüpft.

tome LXXXII. S. 1262 ff. — [14] Canones sicut brevissimi, ita etiam doctissimi, complectentes praecepta et observationes de mutatione aurae clarissimi mathematici Joannis Verneri, ed. Schöner, Norimbergae 1546. — [15] Humboldt, Kosmos, 3. Band. S. 539 ff. — [16] H. J. Klein, Handbuch der allgemeinen Himmelsbeschreibung, 1. Band, Braunschweig 1871. S. 133 ff. — [17] Kreil, Versuch, den Einfluss des Mondes aus einjährigen Beobachtungen zu erkennen, Prag 1841. — [18] Günther, Der Einfluss etc., S. 23. — [19] Schiaparelli, Dell' influenza della luna sulle vicende atmosferiche, Milano 1866. — [20] Günther, Der Einfluss etc., S. 16 ff. — [21] Segner, De mutationibus aeris a luna pendentibus, Jenae 1733. — [22] D'Alembert, Réflexions sur la cause générale des vents, Paris 1744. — [23] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 3. Band. Zürich 1862. S. 185. — [24] Günther, Der Einfluss etc., S. 10 ff. — [25] Lambert, De variationibus altitudinum barometricarum a luna pendentibus, Acta Helvetica, Vol. IV. S. 315 ff. — [26] Oeuvres de Laplace, Paris 1843, tome I., S. 111 ff.; tome II., S. 330 ff. — [27] A. Bouvard, Mémoire sur les observations faites à l'observatoire royal de Paris, Paris 1827; E. Bouvard, Correspond. math. et phys. (de Quetelet), Vol. VIII. S. 257 ff. — [28] Toaldo, Witterungslehre für den Feldbau, deutsch von Steudel, Berlin 1786. S. 99 ff. S. 121 ff. — [29] Flaugergues, Sur l'action de la lune pour diminuer la pression de l'atmosphère, Bibliothèque universelle, Vol. XXXVI. Vol. XL. — [30] Eisenlohr, Untersuchungen über die Witterung von Karlsruhe, über die Schwankungen des Barometers und Thermometers zu den verschiedenen Jahreszeiten, und über den Einfluss der Winde und des Mondes auf die Witterung, Karlsruhe 1832. — [31] Streintz, Uebt der Mond einen nachweisbaren Einfluss auf meteorologische Erscheinungen?, Ann. d. Phys. u. Chem., 5. Ergänzungsband. S. 603 ff. — [32] Knorr, Ueber die tagliche Variation des Barometers und die atmosphärische Lunarfluth, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 7. Band. S. 180 ff. — [33] v. Hoff, Briefliche Mittheilungen meteorologischen Inhaltes, Arch. f. Chem. u. Met., 2. Band. S. 89. — [34] Schübler, Untersuchungen über den Einfluss des Mondes auf die Veränderungen der Atmosphäre, mit Nachweisung des Gesetzes, nach welchem dieser Einfluss erfolgt, Leipzig 1830. — [35] Schübler, Ueber Gronau's Untersuchungen uber den Einfluss des Mondes auf die Witterung, Arch. f. Chem. u. Met., 4. Band. S. 163 ff. — [36] Gronau, Hat der Mond wirklich den Einfluss auf die Witterung, den man ihm von jeher zuschrieb?, Mag. d. Ges. naturf. Freunde zu Berlin, 2. Band. S. 101 ff. — [37] K. Lindemann, Einfluss des Mondes auf die Windrichtung, Annaberg i. S. 1870. — [38] Leyst, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Geschwindigkeit der Luftströmungen in St. Petersburg, Russische Revue, 21. Band. S. 481 ff. — [39] Günther, Der Einfluss etc., S. 20. — [40] Zenger, On the periodic change of climate caused by the moon, Phil. Mag., (4) Vol. V. S. 433. — [41] Günther, Der Einfluss etc., S. 25. — [42] Overzier, Wetterprognosen auf längere Zeit, Köln 1883. — [43] v. Bezold, Die Ergebnisse der Wetterprognosen des Herrn Dr. Overzier in Koln a. Rh., Zeitschr. d. landwirthschaftl. Vereins in Bayern, 73. Jahrgang. — [44] Overzier, Wetterprognose für jeden Tag des Monates September 1884, Köln 1884. S. 1. — [45] Falb, Von den Umwälzungen im Weltall, Wien 1881; Wetterbriefe, ibid. 1883. — [46] Günther, Der Einfluss etc., S. 65. — [47] Hornstein, Ueber den Einfluss der Elektricität der Sonne auf den Barometerstand, Wien 1872. — [48] L. v. Buch, Bemerkungen über den Gang des Barometers, Gilbert's Ann. d. Physik, 5. Band. S. 11. — [49] Frölich, Messungen der Sonnenwärme, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19. Band. S. 209 ff.; Ueber die Messung der Sonnenwärme, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 21. Band. S. 1 ff. — [50] Vogel, Bemerkungen zu der Abhandlung des Herrn Dr. O. Frölich über die Messung der Sonnenwärme, ibid. 21. Band. S. 615 ff. — [51] R. Wolf, Astronomische Mittheilungen, Nr. 62. — [52] Fritz, Die Beziehungen der Sonnenflecken zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Haarlem 1878. — [53] Hahn, Ueber die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu den meteorologischen Erscheinungen, Leipzig 1877. — [54] Ibid. S. 156. — [55] Brocard, Note sur l'invasion des sauterelles en Algérie (janvier-août 1877), Annuaire de la soc. mét. de France, Vol. XXVI. S. 167 ff. — [56] Brocard, Note sur les plantations exécutées autour d'Alger par le service du génie militaire, Association franç. pour l'avancement des sciences, séance du 19 avril 1881. — [57] Fritz, Die Bez. etc., S. 218 ff. — [58] H. J. Klein, Ueber die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu den Cirruswolken, Astron. Nachr., (2) Nr. 53. — [59] v. Bezold, Ueber gesetzmässige Schwankungen in der Häufigkeit der Gewitter während langjähriger Zeiträume, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 4. Band. S. 284 ff.; Ueber das doppelte Maximum in der Häufigkeit der Gewitter während der Sommermonate, ibid. 5. Band.

S. 219 ff.; Ein Beitrag zur Gewitterkunde, Ann. d. Phys. u. Chem., 136. Band. S. 513 ff. — [60] Guttwasser, Ueber Blitzschläge auf Gebäude im Königreich Sachsen, 75. Protokoll der Vers. sächs. Ing.- u. Archit.-Vereine, Leipzig 1871. — [61] Holtz, Ueber die Zunahme der Blitzgefahr und ihre vermuthlichen Ursachen, Greifswald 1881 und Leipzig 1882. — [62] v. Bezold, Ueber zündende Blitze im Königreich Bayern während des Zeitraumes 1833 bis 1882, München 1884. — [63] Ibid. S. 13 ff. — [64] Hahn, Ueber die Bez. etc., S. 170. — [65] Fritz, Die Bez. etc., S. 148 ff. — [66] Hahn, Ueber die Bez. etc., S. 166. — [67] Hann, Bericht über die Fortschritte der geographischen Meteorologie, Wagner's geogr. Jahrbuch, 8. Band, Gotha 1883. S. 56 ff. — [68] Fritz, Die Bez. etc., S. 191 ff. S. 201 ff. — [69] Ragona, Sull' origine delle tempeste giusta le recenti investigazioni del prof. Zenger, Ann. della soc. met. Ital., Vol. II. S. 214 ff. — [70] Fritz, Die Bez. etc., S. 109. — [71] Moigno, Les taches du soleil et le temps, Mondes, (2) Vol. XLVI. S. 730 ff. — [72] Fritz, Die Bez. etc., S. 241 ff. — [73] Günther, Der Einfluss etc., S. 34. — [74] Wolf, Astronomische Mittheilungen, Nr. 12. — [75] W. Köppen, Ueber vieljährige Perioden der Witterung, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 2. Jahrgang. S. 97 ff. — [76] v. Czerny, Die Veränderlichkeit des Klimas und ihre Ursachen, Wien 1881. S. 26.

Kapitel VI.

Dynamische Meteorologie.

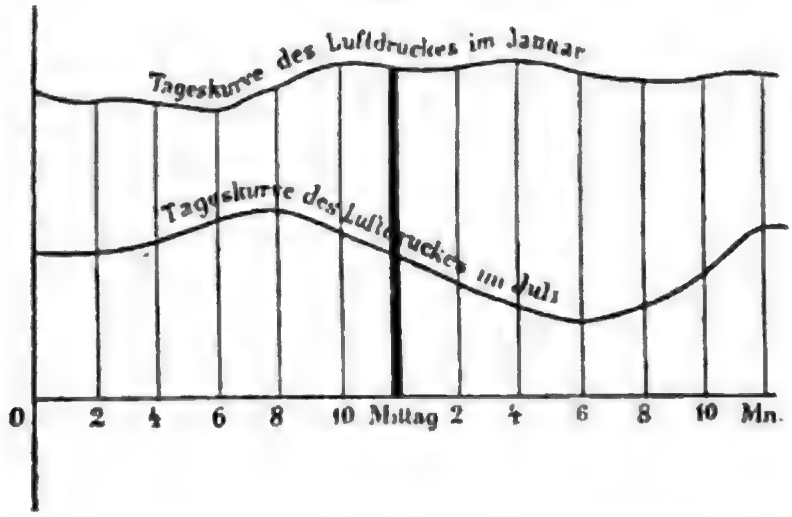
§. 1. **Begriffsbestimmung der dynamischen Meteorologie.** Dieses Wort ist, soweit uns bekannt, zuerst von dem Amerikaner Loomis für den Titel eines Werkes [1] gewählt worden, in welchem der für dieses Kapitel bestimmte Gegenstand zwar nicht erschöpfend und systematisch, doch aber in bewusstem sachlichem und methodischem Gegensatze gegen andere Theile der Meteorologie abgehandelt wird. Allmählig scheint diese zutreffende Bezeichnung eine allgemein adoptirte werden zu wollen, und auch wir bedienen uns ihrer, indem wir die folgende Definition aufstellen: Der dynamischen Meteorologie liegt die Betrachtung aller Störungen des atmosphärischen Gleichgewichtszustandes ob.

Strenge genommen würden somit auch jene Bewegungszustände mit herein zu ziehen sein, welche durch elektrische oder durch von andern Weltkörpern ausgehende Kräfte veranlasst sind. Mit Rücksicht auf die beiden vorhergehenden Kapitel sind wir jedoch zu einer engeren Begrenzung des Thema's berechtigt.

§. 2. **Die barometrischen Schwankungen.** Schon frühe im vorigen Jahrhundert wurde man auf die — seither durch selbstregistrirende Instrumente genauer ergründete — Thatsache aufmerksam, dass das Quecksilber im Barometer regelmässige periodische Schwankungen erkennen lasse, dass es sowohl eine tägliche, wie eine jährliche Periode des Luftdruckes gäbe. Namentlich zwischen den Wendekreisen trat die tägliche Periodicität in der augenfälligsten Weise zu Tage, so dass man zu ihrer Erklärung (vgl. §. 2 des vorigen Kapitels) auf den ebenfalls regelmässigen Lauf der Gestirne zurück-

greifen zu müssen meinte*). Unter den Tropen zeigt die barometrische Tageskurve kühnere Verhältnisse, als in den gemässigten Breiten, wo sie von der Geraden weniger stark abweicht; dass sie auch für den nämlichen Ort im Sommer mehr als im Winter der gewöhnlichen Sinuslinie sich annähert, darüber belehrt uns (Fig. 43)

Fig. 43.



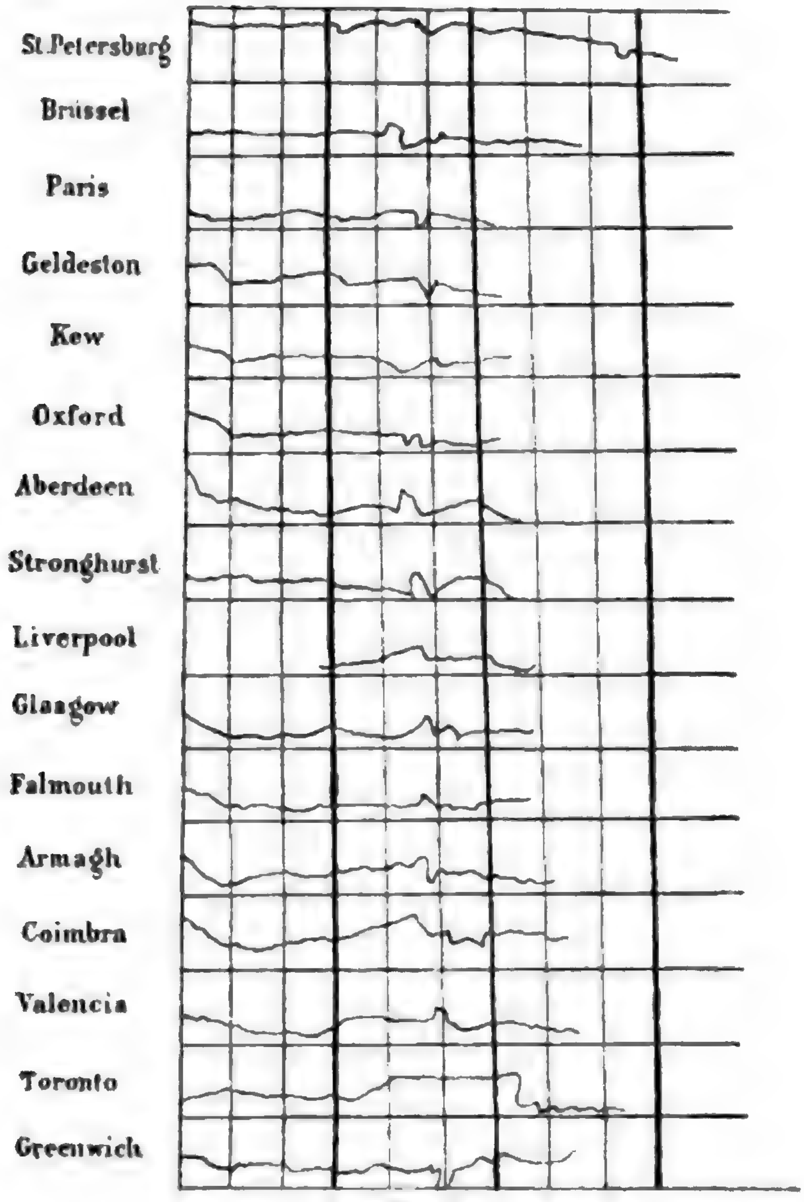
Mohn's Darstellung [3] der Januar- und Juli-Tageskurve für Kristiania; die Ordinateneinheiten sind Millimeter, die Abscisseneinheiten die Tagesstunden. „Die tägliche Periode des Luftdruckes," so sagt Mohn (a. a. O.), „besteht demnach an den meisten Orten aus einer Doppelschwankung, welche im Laufe des Volltages zwei Maxima, das eine am Vormittag, das andere am Abend, und zwei Minima, das eine am Morgen, das andere am Nachmittage zeigt." Von Reiss wird auch [4] der oft unbeachtet bleibende Umstand hervorgehoben, dass diess eigentlich nur für den Meeresspiegel gilt, dass aber in grösseren Höhen die Tageskurve sich mehr und mehr abplattet. Auch erscheinen die Amplituden stärker ausgeprägt im Inneren eines Landes, wie an den Küsten. War schon die Tageskurve sehr abhängig von der geographischen Lage eines Ortes, so gilt diess noch weit mehr für die barometrische Jahreskurve, wie uns Mohn's [5] Nebeneinanderstellung der betreffenden Jahreskurven für Stykkisholm auf Island und für Barnaul in Sibirien verdeutlicht. Ueber ausgedehnten Kontinenten machen sich die grössten und zugleich die regulärsten Veränderungen im Drucke der Luft bemerklich.

Die unperiodischen Schwankungen des Barometerstandes entziehen sich der Untersuchung natürlich weit mehr, als die periodischen, und so ist denn auch das Studium derselben noch nicht über die ersten Anfänge hinausgekommen. Doch lieferte wenigstens Felberg [6] eine sehr verdienstliche Uebersicht über die unperiodischen monatlichen Oscillationen, und sein Verfahren, alle Erdorte, für welche die Grösse des Ausschlages die nämliche ist, durch barometrische Isanomalen mit einander zu verbinden, verdient jedenfalls Nachahmung. — Manche ausgeprägte und auffallende Unterbrechung im

*) Gorceix erzählt [2], dass in einem gewissen Theile des inneren Brasiliens die täglichen Barometerschwankungen mit einer Pünktlichkeit wiederkehrten, welche es den Einwohnern möglich mache, das Barometer als Uhr zu verwenden.

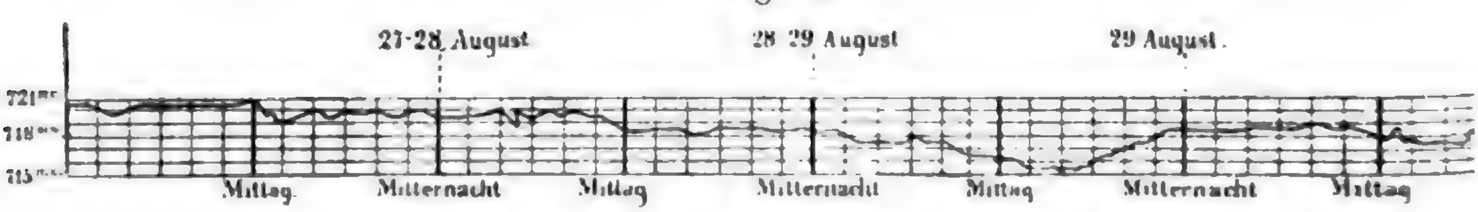
normalen Verlaufe der Tageskurve kann für die Geophysik von grosser Bedeutung werden. Im ersten Bande (S. 379) wurde erwähnt, dass die riesige seismische Woge, welche Ende August 1883 durch den Ausbruch des Krakataua-Vulkanes ausgelöst wurde, sich in vielen auf dem ganzen Erdenrund zerstreuten Orten an dem daselbst aufgestellten Barographen selbst aufgezeichnet habe. Zum Beweise dessen geben wir in Fig. 44 das im 19. Jahrgang der österreichischen meteorologischen

Fig. 44.



Zeitschrift mitgetheilte graphische Schema soweit wieder, dass für 16 — bis auf Eine Ausnahme europäische — Orte der Verlauf der baro-

Fig. 45.



metrischen Tageskurve für die Vormittagshälfte des 27. August 1883 zum Ausdrucke kommt. Fig. 45 aber repräsentirt dieselbe Kurve für

den 27. und 28. August, wie sie sich nach v. Bezold [7] am selbstregistrirenden Aneroid des Münchener Observatoriums aufzeichnete. Auch in Süd-Georgien erhielten die Mitglieder der dorthin gesandten deutschen Expedition sehr schöne Kurven-Diskontinuitäten. Seitdem diess niedergeschrieben ward, ist auch Verbeek's offizieller Bericht über die Katastrophen im holländischen Indien zugänglich geworden, und nach diesem, sowie nach Strachey's zu einem einstweiligen Abschlusse gediehenen Forschungen (I. Band, S. 379), ist kein Zweifel darüber mehr möglich, dass die durch die Erschütterungen ausgelöste Luftwoge mehrmals um den Erdball herumgewandert ist. Demnach muss auch Vulkanstaub bis in die höchsten Luftregionen hinaufgetrieben worden sein, und es machen die Beobachtungen an selbstregistrirenden Instrumenten — in Batavia wirkte als solches der Indikator der Gasfabrik — die in Kap. III erörterte Hypothese über den Ursprung gewisser Dämmerungserscheinungen mehr und mehr wahrscheinlich.

Darüber, dass die Schwankungen des Barometers, solange nicht aussergewöhnliche Kraftäusserungen der eben besprochenen Art mit in Frage kommen, einzig und allein von dem zu verschiedenen Zeiten verschiedenen Erwärmungszustande der Luft abhängig sind, ist man gegenwärtig in Fachkreisen einig. Die Erörterungen des §. 4 werden uns die Beweise für unsere Behauptung ermöglichen.

§. 3. **Die geographische Vertheilung des Luftdruckes.** Der schottische Meteorologe Buchan kam zuerst auf den äusserst glücklichen Gedanken, die von A. v. Humboldt für die Temperaturverhältnisse gegebene Anregung auch für den Luftdruck nutzbar zu machen und von diesem und seiner geographischen Vertheilung auf der Erde ein graphisches Bild zu geben [8]. Derselbe bestimmte für etwa 100 — leider nicht sehr gleichmässig über die Erdoberfläche ausgesäete — Orte den mittleren Barometerstand jedes einzelnen Monates, reducirte diese sämmtlich auf das Meeresniveau und zog Linien durch alle jene Orte, für welche sich so das gleiche Maass des Luftdruckes ergab *). Es sind diess die sogenannten Isobaren, im speziellen Falle Monats-Isobaren. Ebenso könnte auch von Tages- oder Jahres-Isobaren gesprochen werden. Auf dem von Buchan gelegten Grunde hat man dann rüstig weitergebaut, so dass man gegenwärtig wohl in der Lage ist, sich ein richtiges Bild von der Vertheilung des Luftdruckes zu den verschiedenen Zeiten des Jahres zu machen. Unsere Fig. 46 führt uns so die Isobaren des Januar und Juli vor **).

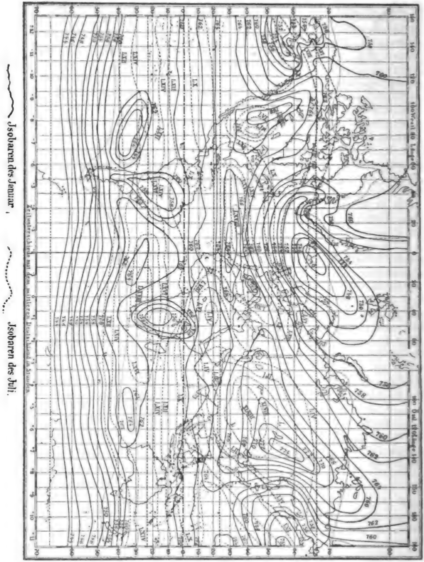
---

*) Buchan's Vorgehen verliert dadurch nicht an Werth, dass seine mittleren Windrichtungen trigonometrisch nach der sogenannten Lambert'schen Formel [9] berechnet wurden, deren Anwendbarkeit, trotz der von Prestel und Flesch an ihr angebrachten Verbesserungen, von den meisten Sachkennern nicht mehr zugelassen wird. Mehr Vertrauen verdient unter Umständen Supan's Verfahren, aus zwei Richtungen die resultirende nach der (Richmann'schen) Mischungsregel herzuleiten [10].

**) Die Figur ist eine verkleinerte Nachbildung der Tafel C im zweiten Bande des von der österreichischen Admiralität herausgegebenen „Handb. d. Oceanographie u. marit. Meteorologie". Die Isobaren des Januar sind durch arabische, jene des Juli durch römische Ziffern charakterisirt, durchweg ward in letzterem Falle die Zahl 700 weggelassen.

Im Januar finden wir ein stark ausgeprägtes Maximum ostwärts vom Baikalsee, welches im Inneren der ellipsenförmigen Isobaren von 774 mm bis auf 780 mm und darüber steigt, ein zweites von 768 bis

Fig. 46.



769 mm nahe den nordamerikanischen Felsengebirgen, welches sich, weiter östlich für eine kurze Strecke total unterbrochen, über das atlantische Meer hinüber erstreckt. Ein drittes Maximum mit 768 mm

treffen wir in der Südsee westlich der chilenischen Küste an, ein viertes mit 764 mm im südlichen Theile des atlantischen Oceans, ein fünftes mit 764 mm westlich von Australien. Ein Minimum mit 745 mm liegt bei Island, ein zweites mit 752 mm östlich von Kamtschatka, ein Minimalgürtel zieht sich in der Aequatorialgegend um die ganze Erde herum, und auch über dem gesammten antarktischen Meere ist der Luftdruck ein sehr geringer. — Der Juli kennt zwei sehr ausgesprochene Maxima in der Gegend der Azoren mit 768 bis 769 mm Druck und über dem nördlichen stillen Ocean, wo jedoch der Druck hinter dem vorigen zurückbleibt, während südlich des Aequators mehrere Theilmaxima — über der südlichen pacifischen See, über Südafrika und über dem südlichen Theile des indischen Meeres — ziemlich ein und demselben Parallelstreifen eingelagert sind. Minima sind in diesem Monate sechs vorhanden: über Innerasien bis zu 748 mm, über dem Westen von Nordamerika bis zn 757 mm, über dem atlantischen Meere bei etwa 12° bis 20° und über dem stillen Weltmeere bei 0° Breite, wo Drücke von 760 mm ein relatives Minimum darstellen, ferner über dem südlichen Meere und über den Nordpolarländern, wo, wie die Figur zeigt, eine Minimalkurve von 756 mm von der Beringsstrasse durch die Länder der nordwestlichen Durchfahrt nach Grönland, Island und Norwegen sich hinüberzieht. Ein über dem Sudân lagerndes Minimum von 754 mm wird bei Mohn, der uns in der Hauptsache zum Führer diente [11], nicht erwähnt.

Von allgemeinen Regeln kann man bei'm blossen Betrachten unserer Karte sich höchstens die eine abstrahiren, dass über den Kontinenten im Winter hoher, im Sommer aber niedriger Luftdruck herrscht, sowie dass über den grossen Meeren die Vertheilung des Druckes eine von den Jahreszeiten weit unabhängigere ist. Dass die Berücksichtigung der Insolations-Verhältnisse nicht für sich allein ausreiche, die oft sonderbaren Gestalten der Isobaren zu erklären, leuchtet ein, und es steht denn auch, was diese Erklärung anbetrifft, die heutige Wissenschaft noch vor so manchen Räthseln. Gleichwohl werden wir in den nächsten Paragraphen viele Thatsachen kennen lernen, welche uns wenigstens für die Eröffnung einzelner dieser Geheimnisse den Schlüssel in die Hand geben.

§. 4. **Allgemeine Theorie der Luftbewegung auf der rotirenden Erde.** Bewegte Luft nennen wir Wind. In der Regel meinen wir damit die in nahe horizontaler, d. h. dem ebenen Erdboden paralleler Richtung vor sich gehenden Luftströmungen *), die Wissenschaft aber erweitert den Begriff auf alle Bewegungen, auch auf die vertikal auf- und niedergehenden. Einige allgemeine Bemerkungen über Windstärke und Windrichtung wurden bereits dem ersten und zweiten Kapitel dieser Abtheilung einverleibt, hier aber stehen wir vor der Frage: Wie entsteht ein Wind, und nach welchen aërodynamischen Gesetzen bewegt er sich fort?

Mit den feinsten Hülfsmitteln der höheren Rechnung haben die beiden hervorragenden norwegischen Forscher Guldberg und Mohn

---

*) Nach Montigny [12] und Hennessy gehören ganz horizontale Winde zu den allergrössten Seltenheiten.

diese Frage einer allseitigen Discussion unterzogen [13]. Wir geben eine Uebersicht über die wichtigsten der von ihnen erzielten Resultate, indem wir zugleich auf die einem ähnlichen Ziele zugewandten Arbeiten Rücksicht nehmen und als Richtschnur die sehr hübsche Popularisirung wählen, mittelst deren Oberbeck auch Anfängern einen Einblick in das an und für sich für sie transscendente Guldberg-Mohn'sche Werk eröffnet hat [14].

Die allerunmittelbarste Ursache aller Störungen des aërostatischen Gleichgewichtes sind die durch das Barometer angezeigten Druckdifferenzen, und diese rühren selbst wieder davon her, dass irgendwie das Wärmegleichgewicht beeinträchtigt worden war. Der häufigst vorkommende Fall ist derjenige, dass die Erdoberfläche an irgend einer Stelle stärker erhitzt ward, als an den sie rings umgebenden Orten, so dass an jener auch der auf der Erde ruhenden Luft ein grösseres Quantum Wärme von unten zugeführt werden musste. Damit ist der Anlass gegeben, dass sich ein vertikaler Luftstrom („courant ascendant") bildet. Diese anscheinend elementarste Bewegungsform ist durchaus keine so einfache, wie man früher geglaubt hat. Dass hier vielmehr sehr verschiedene Modalitäten vorkommen können, wissen wir in erster Linie durch Reye, der eine eingehende analytische Untersuchung über aufsteigende Luftströme anstellte [15] *). Derselbe fand, dass es zwei Arten von Vertikalbewegungen in der Atmosphäre giebt, eine diskontinuirlich auftretende und eine kontinuirliche, bei welcher die bewegte Luft einen zusammenhängenden Strom bildet. Damit aufsteigende Luftströme entstehen können, bedarf es nicht nothwendig eines vorhergehenden labilen Gleichgewichtszustandes in der Atmosphäre, dagegen können niedergehende Luftströme nur unter dieser Voraussetzung eintreten, und eben deshalb werden sie auch seltener sein, als erstere [17]. Die verschiedenen Gleichgewichtszustände der Atmosphäre werden, wie hier gleich bemerkt sein soll, von Reye [18] durch folgende Kriterien fixirt. „Ist die Luft trocken, so ergiebt sich der Satz: Die von unten heraufgebrachte Luftmenge ist wärmer und daher spezifisch leichter, als ihre neue Umgebung, sie steigt also noch weiter in die Höhe, wenn die Temperaturabnahme der Atmosphäre für je 100 m lothrechter Erhebung mehr beträgt, als $\frac{100}{29{,}272\,.\,3{,}443}$ oder 0,993 Grad C.; sie ist kälter und sinkt daher zu ihrer früheren Lage zurück, wenn die Temperaturabnahme für je 100 m kleiner ist als 0,993°. Im ersteren Falle ist der Gleichgewichtszustand der Atmosphäre ein labiler, im zweiten ein stabiler; er ist

*) Diese Arbeit enthält bereits vollständig die Keime, aus welchen später das bekannte grössere Werk des in allen Sätteln gerechten Mathematikers hervorgieng [16]. Dasselbe beschäftigt sich namentlich mit der Theorie der Stürme, als deren Grundursache der Autor eben die vertikalen Luftbewegungen nachweisen will, und so werden auch wir auf das genannte Buch in jenem Abschnitte zurückzukommen haben, welcher die Wirbelstürme der heissen Zone behandelt. Nicht blos die irdischen Orkane, sondern auch diejenigen der solaren Photosphäre werden dortselbst auf ihre gemeinsamen Eigenschaften geprüft, wie wir denn schon im I. Bande (S. 59) von dem in dieser Frage zwischen Reye und Faye herrschenden Gegensatze der Ansichten zu berichten hatten.

ein indifferenter, wenn die genannte Temperaturabnahme gleich 0,993° ist." Für theilweise oder ganz mit Wasserdampf gesättigte Luft ändert sich natürlich die Konstante 0,993°. — Bis jetzt ward der Allgemeinverständlichkeit halber angenommen, dass die Bewegung in einer regelrecht nach allen Seiten abgegrenzten Säule vor sich gehe, während die angrenzenden Partieen gar nicht in Mitleidenschaft gezogen würden. Selbstverständlich ist das thatsächliche Verhalten der Natur ein minder einfaches, die dem Erdboden zugeführte überschüssige Wärme bedingt eine allgemeine Cirkulationsbewegung, welche Supan [19] ganz gut als Luftauflockerung bezeichnet. Das Wesen dieses Processes, den wir allstündlich sich vor unseren Augen abspielen sehen, ist zuerst von Hann ganz klar aufgefasst worden [20]. Während die unmittelbar erhitzten Luftschichten sich ausdehnen und in die Höhe steigen, sinken die kühleren oberen Partieen herab, und so pflanzt sich nach und nach die Erwärmung durch alle Theile fort. In Folge dessen werden, zumal wenn die Wärmezufuhr für den Boden fortdauert, die über dem Lande gelagerten Luftschichten gegen die oberen emporgehoben und heben diese letzteren selbst empor. Jene isobarischen Flächen, deren Durchschnittskurven mit dem Seespiegel wir weiter oben als isobarische Linien kennen gelernt haben, Flächen also, die bei gleichförmiger Vertheilung der Temperatur vollkommen geoidisch sein müssten (vgl. I. Band, S. 198 ff.) heben sich über den erwärmten Stellen und senken sich gegen das kühlere Terrain; es entsteht ein Gefälle nach letzterem hin, und die Luft fliesst in den dorthin führenden Richtungen ab.

Nehmen wir zunächst an, die besonders erwärmte Stelle sei ein Punkt oder doch nur ein Kreis von ungemein kleinem Radius, dann entsteht senkrecht über diesem Punkte eine lokale barometrische Depression, es wächst der Druck von hier aus stetig nach allen Seiten hin, und so müssen sich die Isobaren als koncentrische Kreise um die zuerst erwärmte Stelle herumlegen. Die, wie wir vorhin sahen, oben abfliessende Luft wird durch einen Saugungsprocess in die leer gewordene oder doch nur mit verdünnter Luft gefüllte Gegend hereingezogen und strömt unten nach dem Punkte der grössten Erwärmung hin. Für die Grösse der Druckdifferenzen giebt das Maass der Gradient (vgl. I. Band, S. 292), welcher für einen bestimmten Punkt Grösse und Richtung der stärksten Druckänderung angiebt*). Um jedoch den Einfluss der Erdrotation mit zu berücksichtigen, muss man sich in jedem Punkte der bewegten Luftmasse eine Kraft gleich $2\omega\, v \sin\beta$ angebracht denken, wo v die Geschwindigkeit des betreffenden Punktes, ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde, β endlich die Polhöhe bedeutet; die Entstehung dieses Ausdruckes ist im I. Bande (S. 221 ff.) so ausführlich behandelt worden,

---

*) Eine von Ferrel angegebene Formel zur Berechnung des Gradienten ist von Strachan dahin abgeändert worden [21]:

$$G = \left(\frac{a r \sin\beta + v \cos\beta}{b r \cos\beta}\right)^{\frac{vP}{P'}}$$

Hier ist G der Gradient der Windbewegung für einen Aequatorgrad. β wieder die Breite, r der Krümmungskreis der Isobare, P der Luftdruck am Beobachtungsorte, P' der Luftdruck am Meeresniveau, a und b je eine empirische Konstante.

dass wir hier an dieser Stelle uns nicht mehr damit zu beschäftigen brauchen *). Die Reibung, welche die in Bewegung befindliche Luftmasse zu erleiden hat, ist abhängig von zweierlei: einmal von dem senkrechten Abstande des in's Auge gefassten Punktes von der Erdoberfläche und dann von der Beschaffenheit letzterer. Rechnerisch wird man der Reibung gerecht, wenn man eine der Bewegung entgegen gerichtete Kraft kv annimmt, unter k einen Erfahrungsfaktor verstanden. Der ursprüngliche vertikale Luftstrom bildet mit den durch ihn veranlassten Bewegungen zusammen ein Windsystem, welches stabil oder veränderlich sein kann, je nachdem die erwärmte Basis dieselbe bleibt, oder nicht. Der erste Fall ist natürlich der bei weitem einfachere und von der Rechnung, der durch die Integration der aufzustellenden Differentialgleichungen sehr bald unüberwindliche Schwierigkeiten entgegentreten, zunächst allein festzuhaltende. Was die isobarischen Linien anlangt, so sind die einfachsten über sie zulässigen Annahmen die, dass dieselben entweder parallele Gerade oder koncentrische Kreise sind. Durch rechnende Betrachtung gestalten sich diese beiden Fälle, wie folgt:

I. Die parallelen Isobaren sind auch äquidistant, die Windbahnen sind ebenfalls parallele Gerade, die Windstärke ist allenthalben die nämliche, der Winkel der Windrichtung mit dem Gradienten ist einfach = arc tang (ω v sin β : k). Je kleiner k, je glatter also der Erdboden ist, um so genauer weht der Wind in der Richtung der Isobaren. In England's Meeren wurde dieser Winkel = 77°, auf dem benachbarten Lande = 61° gefunden, was offenbar gut mit unserer aprioristischen Regel stimmt, da eben die Reibung zwischen Luft und Wasser eine vergleichsweise sehr geringe ist.

II. Wenn die Isobaren durchweg kreisförmig sind, so ist das Gebiet des aufsteigenden Luftstromes in der Theorie durch einen Kreis begrenzt; innerhalb herrscht vertikale, ausserhalb horizontale Bewegung. Der Druck nimmt, wie der Kalkul zeigt, vom Centrum aus nach allen Seiten zu, und auch der Gradient wächst bis nach dem Grenzkreise hin; von hier aus aber nimmt er ab und wird in sehr grosser Entfernung verschwindend klein. Die Windbahnen sind jetzt logarithmische Spiralen **), welche ihrem Bildungsgesetze gemäss mit dem Gradienten überall gleiche Winkel bilden. Die Abweichung vom Gradienten ist in dem äusseren und inneren Gebiete eine verschiedene. Denkt man sich beide Gebiete durch eine Cylinderfläche getrennt, so bilden in dieser die beiden Kurvenschaaren einen Winkel mit einander.

---

*) Eine unleugbare Lücke dieses (Buff-Zoppritz'schen) Beweisganges hat unlängst Sprung [22] ausgefüllt, indem er nachwies, dass durch Berücksichtigung der Centrifugalkraft die Gültigkeit jenes Beweises nur scheinbar, nicht aber wirklich beeinträchtigt werde. Man darf somit jener Ableitung jetzt um so fester vertrauen.

**) Die logarithmische Spirale entsteht dadurch, dass man die uns aus dem I. Bande (S. 278) bekannte Loxodrome, eine sphärische Kurve doppelter Krümmung, stereographisch auf die Bildebene projicirt. Da die Loxodrome die Eigenschaft hatte, eine Schaar von Hauptkreisen gemeinsamer Axe unter konstantem Winkel zu schneiden, und da Winkelbeziehungen bei der angegebenen Projektionsart keine Abänderungen erleiden, so behält auch die logarithmische Spirale die Eigenschaft bei, das System von Radien Vektoren, in welches das System der Hauptkreise übergeht, gleichwinklig zu schneiden.

Allein diese von der Rechnung fehlerlos bezeugte Thatsache ist dennoch unverträglich mit dem wirklichen Verhalten in der Natur, welche keine Sprünge kennt, und es muss deshalb ein Grenzgebiet allmähligen Ueberganges geben. —

Ein völlig unveränderliches Windsystem, wie wir es bisher angenommen haben, ist nun allerdings niemals vorhanden, die Depression hat vielmehr immer einen wechselnden Charakter, und das Depressionsgebiet wandert, mit oft ziemlich grosser Geschwindigkeit, über die Erde hin, indem eben nicht Temperatur und Dichtigkeit des vertikalen und des horizontalen Luftstromes mit einander übereinstimmen. Wenn z. B. die Temperatur auf der einen Seite der hinzuströmenden Luft eine höhere ist, als auf der entgegengesetzten, so wird am ersten Orte das Gebiet des aufsteigenden Luftstromes vergrössert, am anderen verkleinert. Bei wandernden Cirkulationen erhalten die Isobaren natürlich eine andere Gestalt, als bei ruhenden, und aus diesen gestaltlichen Aenderungen kann man auf die Bewegungsrichtung schliessen. Die Analyse lässt in diesem Falle die Isobaren als geschlossene Kurven von elliptischer Form erkennen *). Viel weiter als bis zur Erklärung dieser freilich recht einfachen, aber doch für die ganze Aufgabe grundlegenden Verhältnisse hat der gegenwärtige Zustand der höheren Mathematik noch nicht vorzudringen gestattet.

Besonders wichtig ist die Untersuchung der sogenannten Trägheitsbahn, d. h. die Bestimmung derjenigen Kurve, welche ein mit gleichförmiger Geschwindigkeit v_0 sich bewegendes Luftmolekül auf der sich drehenden Erde beschreibt. Was v. Baeyer, Ohlert und Finger hiefür geleistet haben, ist uns aus dem I. Bande (S. 223) erinnerlich; neuerdings sind noch die Arbeiten von F. Roth [25] und Bruns [26] hinzugekommen. Der Letztgenannte beweist, dass, obwohl es ungerechtfertigt wäre, die Reibung a priori unberücksichtigt zu lassen, trotzdem die von der Erdumdrehung verursachte Azimutalablenkung sich als von der Reibung gänzlich unbeeinflusst herausstellt. Am eingehendsten aber hat sich mit diesem Probleme wohl Sprung beschäftigt, zuerst in einer besonderen Abhandlung [27], sodann aber in einer Studie von allgemeinerem Charakter, die uns noch mehrfach begegnen wird. Die Gleichungen der Trägheitskurven nehmen allerdings verwickelte Formen an. Sind r und φ die Polarkoordinaten eines Punktes, der an sich mit der gleichförmigen Geschwindigkeit v_0 auf einer mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotirenden Scheibe fortschreitet, während die kürzeste Entfernung der Fortschreitungsrichtung vom Scheibenmittelpunkte durch a ausgedrückt wird, so ist die Trägheitsbahn eine spiralige Kurve mit der Gleichung [28]

$$\varphi = \text{arc tang} \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{a} + \frac{\omega}{v_0} \sqrt{r^2 - a^2} - \frac{\pi}{2}.$$

*) Für Nordamerika, wo Luftbewegungen und Witterungsverhältnisse am ersten einen typischen Charakter annehmen, hält sich Loomis zur Formulirung nachstehenden Satzes berechtigt [23]: „La forme moyenne des isobares près du centre de la tempête" — diess ist eben die fortrückende Erwärmungsstelle — „peut être regardée comme une ovale irrégulière, dont la longueur est sensiblement double de la largeur." In der Lage der grossen Axen waltet jedoch, unserem Gewährsmanne zufolge [24], nicht die allermindeste Regelmässigkeit ob.

Statt der sich drehenden Scheibe wäre aber, strenge genommen, eine sich drehende Kugel, statt des Scheibenmittelpunktes der Pol, statt der ebenen Trägheitskurve eine sphärische Linie von minder einfacher Gleichung zu setzen. — Eine von Meteorologen anscheinend wohl wenig beachtete Arbeit rein geometrischer Natur ist diejenige von Biehringer über Kurven auf Rotationsflächen, doch werden in ihr gerade auch die unter dem Einflusse der Erdrotation beschriebenen Kurven sehr sorgfältig abgehandelt [29].

§. 5. **Das Problem des Fönwindes** *). Wir halten es für gerathen, den Gang unserer systematischen Erörterung für kurze Zeit zu unterbrechen und die Diskussion eines in der Geschichte der Meteorologie berühmt — um nicht zu sagen wegen seiner Schwierigkeit berüchtigt — gewordenen Problems einzuschieben, desjenigen nämlich, welches der sogenannte Fön der Wissenschaft gestellt hat. Es werden uns hiebei einerseits die am Schlusse des vorigen Paragraphen erlangten Kenntnisse von grossem Nutzen sein, und andererseits wird sich zeigen, dass die Aufgabe recht eigentlich in die dynamische, d. h. in diesem Falle in die von den Hülfsmitteln der dynamischen Wärmelehre Gebrauch machende Meteorologie gehört.

Der Fön ist ein trockener, heisser Wind, der früher als der Schweiz eigenthümlich betrachtet ward, wo er von den Gipfeln der Centralalpenkette herab mit grosser Heftigkeit in die Thäler der Kantone Glarus, Uri und Unterwalden hereinweht und theils als „Schneefresser" einen wohlthätigen Einfluss ausübt, theils auch wegen seiner feuergefährlichen Eigenschaften gefürchtet wird. Er wird westlich noch in Besançon, östlich noch in Salzburg, nördlich noch im mittleren Württemberg und Bayern gefühlt und als ein Wind von ganz besonderer Art deutlich erkannt; besonders fühlbar macht er sich auch in Vorarlberg, wie Hann [30] des Näheren gezeigt hat. Der Solano in Andalusien scheint mit dem Fön ganz identisch zu sein, und ebenso hat sich die Existenz ganz analoger Luftbewegungen für Kutais in Transkaukasien, für das südliche Ufer des kaspischen Meeres, für Neuseeland, Grönland und Süd-Georgien **) herausgestellt. Hätte man vor zwanzig Jahren schon mit dieser weiten geographischen Verbreitung des Fönwindes gehörig Bescheid gewusst, so würde man wahrscheinlich damals schon zu dem Bewusstsein gekommen sein, dass hier die Bethätigung eines generellen Gesetzes der Erdphysik vorliege, und dass mit lokalen, blos auf die Schweiz zugeschnittenen Erklärungsweisen nichts gethan sei.

Eine solche ward nämlich von Desor und Escher von der Linth gegeben, als dieselben von ihrer in Gemeinschaft mit Martins unternommenen und von diesem auch beschriebenen [31] Reise nach Afrika (vgl. I. Band, S. 22) heimgekommen waren, und eine Reihe anderer Naturforscher, wie z. B. Dollfus-Ausset, schloss sich jenen an [32]. Dieser Theorie gemäss sollte die Wüste Sahara ehedem ein

---

*) Die Schreibweise „Föhn" ist, wesentlich auf Anregung der hiezu besonders kompetenten schweizerischen Autoren, aufgegeben worden.

**) Private Mittheilung von Dr. P. Vogel, dem II. Astronomen der deutschen Expedition.

Theil des mittelländischen Meeres gewesen sein, und während dieser Zeit sollte — vgl. Kap. IX — der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ein weit grösserer, denn jetzt, und wiederum in Folge dessen die Vergletscherung Europa's eine viel ausgedehntere gewesen sein. Als das Meer, durch Hebungen vom Centralbecken abgeschlossen, austrocknete, nahm diese Feuchtigkeit mehr und mehr ab, es wurde aus dem Meeresboden ein Sandmeer, und der aus diesem sich erhebende Wüstenwind trocknete durch die ihm innewohnende Hitze die Luft noch mehr aus, machte der sogenannten Eiszeit ein Ende und entwickelte sich zum Fön, wie man ihn heute kennt. Gut ausgesonnen und anscheinend zu einem wohlgefügten System ausbildbar, leidet diese Hypothese doch an dem fundamentalen Mangel, dass ganz und gar nicht auf das Rücksicht genommen ward, was (s. o.) von den Trägheitsbahnen bewegter Körper gilt. Es war Dove, der in einer kleinen, aber inhaltsreichen Monographie [33] den schweizerischen Geologen entgegentrat und sowohl die Ansicht, dass der Fön erst das Produkt einer verhältnissmässig recenten Zeitperiode sei, bekämpfte [34], als auch überzeugend die Ostablenkung der von der Sahara aufsteigenden Luftströme nachwies [35]. Escher würde nur dann im Rechte sein, so drückte er sich aus, „wenn die Erde ein rotirender Cylinder, statt einer rotirenden Kugel, wäre." Durch die im vorigen Paragraphen angestellten Betrachtungen wird die Führung dieses Beweises natürlich noch sehr erleichtert. Sprung kritisirt [36] eine Berechnung Mousson's, nach welcher ein Luftstrom, um in der Centralschweiz mit einer Sekundengeschwindigkeit von 30 m einzutreffen, seinen Weg über Borneo, Goa, Medina, Malta und Nizza nehmen müsste, zeigt deren Irrthümlichkeit auf und thut dar, dass in diesem Falle die spiralige Trägheitsbahn beinahe in einen Kreis degenerire, auf welchem annähernd Ancona, Nizza, Genf, Lindau und München liegen. Kurz, die Möglichkeit, dass Luftströme aus der afrikanischen Wüste nach Mitteleuropa gelangen könnten, ist für den mathematisch denkenden Meteorologen heute ausgeschlossen.

Die dynamische Theorie des Fönwindes ist wesentlich durch Lamont, Hann und Wettstein ausgebildet worden. Wettstein's Darlegung [37] ist auch die für uns hier massgebende. Wenn im westlichsten Theile Europa's oder über dem angrenzenden Weltmeere eine starke Depression eintritt, so strömt die Luft dahin ab, indem sie mit dem selbst wandernden Depressionscentrum zugleich auch stetig ihre Richtung ändert. Wenn speziell aus der Schweiz die Luft dem barometrischen Minimum zuströmt, so wird die Luft von Südost oder Süd her in dieses Land hineingesogen, und zwar geht, entsprechend der Richtungsänderung der hinausströmenden Luft, dieser Aspirationsstrom allmählig aus der Richtung von Südost durch Süd nach Südwest über (vgl. Sprung's obiges Beispiel). Unmittelbar über dem Boden verharrt der durch die Friktion aufgehaltene Luftstrom am längsten in der ursprünglichen Südostrichtung, während in den höheren Regionen bereits der Südwest weht. Südlich der Alpenkette ist die herankommende Luft meist noch ziemlich feucht, sie gibt aber ihren Wasserdampf an die Südseite der Berge ab und erscheint nach Ueberschreitung des Kammes als der bekannte trockene Luftstrom. Warum aber, so muss man jetzt fragen, steigt die warme, trockene Fönluft herab und nicht in die Höhe? Hiefür liefert wesentlich der Reibungswiderstand

am Boden die Erklärung, es entsteht oberhalb der Thaleingänge eine förmliche Luftbrandung, und sie ist es, welche der Bergluft die nöthige lebendige Kraft verleiht, um die ihr entgegenstehende Thalluft hinwegzudrängen. Die erstere wird also in die Kessel und Schluchten des Gebirges hineingepresst, dadurch wird sie komprimirt, ihr Volumen wird ein geringeres, und der Volumverminderung entspricht nach bekannten thermodynamischen Grundsätzen eine proportionale Erwärmung. Ist [38] p_1 der anfängliche, p_2 der schliessliche Druck, c das Verhältniss der beiden spezifischen Luftwärmen bei konstantem Drucke und konstantem Volumen*), a der absolute Nullpunkt der Temperatur (I. Band, S. 92), t_1 die anfängliche, t_2 die zuletzt erreichte Temperatur, so ist

$$t_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{c-1}{c}} . (a + t_1) - a,$$

und diese Formel gestattet es, die sich kontinuirlich erhöhende Temperatur des Fönwindes auch rechnerisch zu verfolgen. — Dem entsprechen Hann's Bludenzer Beobachtungen (a. a. O.). Die aus Ostsüdost und Südost wehenden Winde, die aus dem Montavon kommen und über die Scheide der Silvretta-Gruppe hereinwehen, bringen in Bludenz Hitze und Trockenheit zuwege; die Feuchtigkeit wird durch sie um durchschnittlich 30 % vermindert. Diese Abart des Föns entspricht ganz der Theorie, dass nämlich der Wind stets entsteht, wenn tiefe Depressionen sich auf dem zwischen Neuschottland und der Bay von Biscaya gelegenen Theile des Atlantik einstellen, weil durch deren Vorhandensein zwischen dem Nord- und Südfuss der Alpen eine bedeutende Luftdruckdifferenz bewirkt wird**).

§. 6. **Das Hadley'sche Princip und die Dove'sche Winddrehungsregel.** Bereits bei Beginn des XVI. Jahrhunderts dachte der geniale Lionardo da Vinci an eine Erklärung der vom Aequator regelmässig zum Pole hin gehenden Luftströmung [41], mit deren Existenz man durch die Entdeckungsreisen der Portugiesen damals bekannt zu werden anfieng, und im Jahre 1573 gab Pierre Davity, nach Gelcich's Bericht [42], ganz zutreffende Rechenschaft über jene Winde, welche durch die ungleiche Erwärmung von Land und Meer entstehen. Irrthümlich wird die entsprechende Erklärung der regelmässigen Winde der Tropenzone vielfach dem Halley zugeschrieben, indess bemerkte Peschel schon [43], dass der berühmte englische Mathematiker diessmal die Ehre der Priorität seinem weit weniger bekannten Landsmann G. Hadley abtreten müsse, in dessen bezüglicher Abhandlung allerdings weit korrektere Anschauungen niedergelegt sind, als in den Schriften Halley's [44]. Sprung hat [45] das, was er das Hadley'sche Princip nennt, einer genauen begrifflichen Analyse unterworfen und

---

*) Schlemüller will allerdings gefunden haben [39], dass das Verhältniss der spezifischen Wärme eines Gases bei konstantem Drucke zu seiner spezifischen Wärme bei konstantem Volumen keine konstante, sondern eine mit wachsender Meereshöhe abnehmende Zahl sei.

**) Nach Grad [40] hätte bereits Leverrier die Escher'sche Theorie zurückgewiesen und die klimatologischen Folgerungen derselben bestritten.

dabei dargethan, dass dasselbe bis in die neueste Zeit herein die Witterungskunde beherrschte und in den meteorologischen Systemen eines Dove, Mühry, Marié-Davy u. A. immer wieder zum Durchbruche kommt, obwohl es nur eine bedingte Gültigkeit in Anspruch nehmen kann. Ferrel's bedeutendes Werk [46], und an jenes sich anschliessend die Arbeiten Buys-Ballot's und Ley's, haben uns dieses Princip seinem wahren Werthe nach abzuschätzen gelehrt. Um diess jedoch einleuchtend zu machen, haben wir etwas weiter auszuholen.

Im I. Bande (S. 223) ward eines Memoire's von Poisson gedacht, in welchem dieser hervorragende Analytiker bewies, dass jede Rechtsablenkung eines auf der Nordhalbkugel horizontal bewegten Körpers eine doppelte sei: einmal rühre sie von dem uns wohlbekannten Einflusse der Erdumdrehung selbst her, für deren Betrag wir den Ausdruck $2\omega v \sin \beta$ kennen, dann aber komme ein Theil auch auf die Thatsache, dass ein bewegter Körper, wenn das Azimut seiner Bewegungsrichtung sich von 90° oder 270° unterscheide*), in Gegenden von geringerer oder grösserer Rotationsgeschwindigkeit gelange, denen gegenüber er voranzueilen oder zurückzubleiben scheine. Dieser letztere Theil der Gesammtablenkung, der allerdings für meridionale Richtungen ein Grösstes wird, während der andere vom Azimut unabhängig ist, beträgt jedoch nur einen sehr geringen Bruchtheil von jener. Hadley und seine Nachfolger beachteten aber ausschliesslich diesen Bruchtheil, während sie den weit überwiegenden Betrag ausser Acht liessen, und begiengen so einen Fehler, der nicht blos als Unterlassungssünde bezeichnet werden kann. Stellte doch sogar Dove den durchaus falschen Satz auf [47]: „Wenn die Luft durch Temperaturdifferenz oder irgend eine andere Ursache ein Bestreben erhält, in einem Parallelkreise zu fliessen, so wird die Drehung der Erde durchaus keinen Einfluss auf sie äussern, weil die Punkte der Erde, zu denen sie gelangt, genau dieselbe Drehungsgeschwindigkeit besitzen, wie die Punkte, die sie verlassen hat.“ Auch die in Mühry's schönem Werke [48] niedergelegten Anschauungen werden noch durch diese Einseitigkeit getrübt, und in einer noch später erschienenen Abhandlung von Benoni [49], welche Dove's Windsystem in dogmatischer Form darstellt, werden Diejenigen sogar eines Fehlers geziehen, welche nicht daran glauben wollen, dass eine zum Meridian senkrechte Bewegungsrichtung keiner Deviation unterworfen sei.

In dem oben angezogenen Werke baute nun Dove auf dem Hadley'schen Principe ein anemologisches Lehrgebäude auf, welches schon dadurch unsere Beobachtung verdient, dass es, Dank seinem genialen Baumeister, durch mehr denn vierzig Jahre trotz der Unsicherheit seiner Grundlagen Stand zu halten vermochte. Dove gieng von der Betrachtung zahlreicher barischer und thermischer Windrosen aus und folgerte daraus: Für aussertropische Breiten sind zwei einander entgegengesetzte Luftströme charakteristisch, der warme, feuchte und leichte Aequatorialstrom und der kalte, trockene und schwere Polarstrom. Beide fliessen neben ein-

---

*) Wir denken uns, wie es in der Astronomie Gebrauch ist, die Azimute von Süden aus nach links herumgezählt, so dass dem Westpunkte ein Azimut von 90° zukommt.

ander hin, indem die Luft des ersteren emporsteigt, diejenige des letzteren hinabsinkt, und dabei verdrängen sie sich gegenseitig in der Weise, dass das Umspringen des Windes auf der nördlichen Erdhemisphäre gewöhnlich im Sinne der Uhrzeigerbewegung, auf der südlichen dagegen im entgegengesetzten Sinne erfolgt.

So lautet die allen Meteorologen früher so wohl bekannte Regel, welche heutzutage aus den Lehrbüchern völlig zu verschwinden scheint. Nicht ganz mit Recht, denn wie schon daraus zu ersehen, dass ein Mann wie Dove so lange sich auf sie stützen durfte*), trifft dieselbe für Mitteleuropa in der That doch in so vielen Fällen zu, dass ihr eine relative Brauchbarkeit nicht wohl abzusprechen ist. Den Grund jedoch, weswegen die Regel — das Wort Gesetz wäre unstatthaft — ihrer nicht korrekten Prämissen ungeachtet sich als vielfach zutreffend erweist, können wir erst bei einer späteren Gelegenheit angeben.

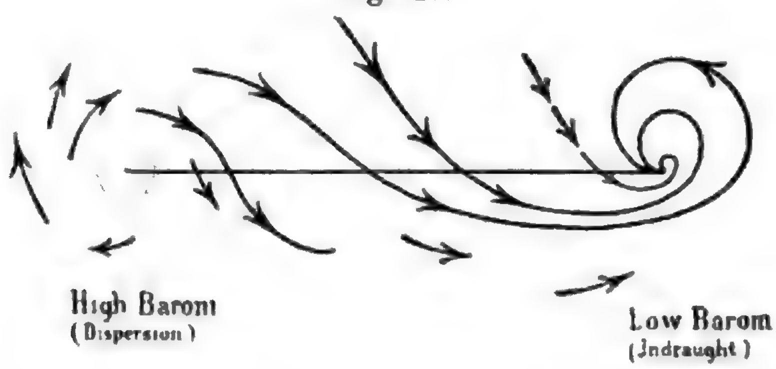
Ausser Mühry und Benoni, von denen bereits die Rede war, haben besonders Rothe und Lorenz v. Liburnau in dem von ihnen gemeinsam bearbeiteten Lehrbuche [52] Dove's System dargestellt und zu vervollkommnen gesucht. Freilich ist es dabei, wenigstens nach Supan's Meinung, nicht ohne Dogmatisiren abgegangen.

§. 7. **Die Gesetze von Galton, Buys-Ballot und Stevenson.** Darin lag eben eine grosse Gefahr: man dogmatisirte, weil man den wirklichen Sachverhalt nicht kannte, weil man in einer nur unter gewissen Bedingungen gültigen empirischen Regel ein Naturgesetz erblickte. Ahnungen des Richtigen sind schon seit geraumer Zeit zu verzeichnen. Die Amerikaner Espy und Coffin [53] und der Mecklenburger Dippe [54] sprachen gelegentlich Gedanken aus, wie sie den sofort zu besprechenden Gesetzen sich anpassen, doch ward erst schüchtern und allmählig vorgegangen, da, wie gesagt, Dove's Ansichten noch immer die Herrschaft behaupteten. Man kann zweifelhaft sein, ob Galton oder Buys-Ballot mit mehr Recht als der Urheber des Fundamentalgesetzes der neueren Meteorologie anzuerkennen sei; jedenfalls ist, mögen auch kleine zeitliche Unterschiede vorhanden sein, das Verdienst des Einen demjenigen des Andern gleichwerthig, und man sollte von Rechtswegen dem Gesetze die Namen beider Forscher beilegen. Nähere Untersuchung ergiebt, dass Buys-Ballot ursprünglich seinem Gesetze einen weit engeren Geltungsbereich zuerkannte, als es

*) Dove war auch nicht ohne alle Vorgänger. So berichtet Ratzel [50], wie die ungemein grosse Gleichförmigkeit der klimatischen und meteorologischen Verhältnisse im Unionsgebiete es ermöglicht habe, dass ein gewisser Lewis Evans bereits 1749 die Fortschreitungsrichtung der amerikanischen Stürme deutlich erkannte; nicht minder habe man von der Regel der Winddrehung in Nordamerika weit eher eine klare Idee gehabt, als bei uns. Andere wollen schon bei Francis Bacon und bei Dampier ähnliche Vorstellungen angetroffen haben, doch ist die Interpretation gelegentlicher Aeusserungen aus alter Zeit immer etwas missliches. Sicherer ist, dass Mariotte und Kant der Auffindung der Regel ziemlich nahe waren. Ganz unbemerkt ist aber allem Anscheine nach geblieben, dass, wie R. Wolf bemerkte, der Schweizer Jakob Gesner um 1747 sich folgendermassen aussprach [51]: „In was für einer Ordnung die Winde abwechseln, observirt man, dass es staffelweis geschieht, also dass der Wind gewöhnlich sich drähe von Süd nach West, von da nach Nord und Nordost, auch etwann bis Ost fortgehe.“ Den unteren Quadranten rechts schloss Gesner also aus.

der Wirklichkeit entspricht, dass er durch dasselbe nur gewisse Eigenthümlichkeiten der speziell-niederländischen Luftcirkulation ausgedrückt glaubte, wogegen er allerdings damals, als er auf Grund der neu gewonnenen Erkenntniss die Konstruktion graphischer Witterungsbilder vorschlug [55], die Tragweite seiner Entdeckung bereits erkannt hatte. Galton's Entdeckerrecht auch in Deutschland mehr zu Ehren zu bringen, halten wir für unsere Pflicht*), um so mehr, da der englische Physiker gleich zu Anfang das Gesetz in allgemeinster Weise formulirte und eine ganz richtige Theorie der Cyklonalbewegung entwickelte. Dess zum Beweise mögen, unter Berufung auf Fig. 47, seine eigenen

Fig. 47.



Worte [58] hier Platz finden: „The result i have thus far arrived at, and which i should look for hereafter, is that whenever the barometer shows circumscribed areas of marked elevation and depression at distances non exceeding 1500 miles apart, a line drawn from the locus of highest to that of lowest barometer would be cut parallel wind-currents at an angle of about 45°, in the way shown in the diagram."

Das Buys-Ballot'sche Gesetz pflegt demgemäss in folgender einfacher Weise ausgesprochen zu werden: Die Luft strömt von der Gegend des höheren nach der des niederen Luftdruckes hin, wird dabei aber durch die Erdrotation auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt. Um aus der Richtung des gerade wehenden Windes die ungefähre Gegend hohen Luftdruckes abzunehmen, aus welcher jener weht, kann man nach van Bebber's Regel [59] verfahren: Man kehre dem Winde den Rücken und strecke die Hand rechts seitwärts nach hinten, dann wird die Gegend hohen Drucks in der Verlängerung des Armes liegen. Eine sehr einfache und nur von gewöhnlichen geometrischen Kenntnissen Gebrauch machende Ableitung des Buys-Ballot'schen Gesetzes ward von Sprung [60] gegeben.

Das sogenannte Stevenson'sche Gesetz lautet: Die Geschwindigkeit des Windes ist dem barometrischen Gradienten direkt proportional. Wer die Erörterungen nachliest, welche früher (I. Band, S. 291) über das Wesen der orthogonalen Trajektorien einer Kurvenschaar und über den physikalischen Begriff des Gefälles gegeben wurden, der weiss, dass es sich hier nicht um eine spezifisch-meteorologische Wahrheit, sondern um einen Lehrsatz

*) Die von englischer Seite kommende Behauptung [56], dass die Verallgemeinerung des Gesetzes von Galton herrühre, ward früher vom Verf. angezweifelt [57], jedoch nicht mit Recht.

der mathematischen Physik handelt, welcher der mannigfachsten Anwendung fähig ist. Lokale Verhältnisse werden allerdings vielfach bewirken, dass das Stevenson'sche Gesetz minder rein ausgeprägt erscheint.

Aus obigen Gesetzen folgt, dass die Detailerscheinungen, welchen man früher einen ganz zufälligen oder doch wenigstens unperiodischen Charakter beilegte, die eigentlich entscheidenden sind. Wir werden diess durch eine Darlegung der Wind- und Sturmverhältnisse nachzuweisen haben, doch möge vorerst, um an einem treffenden Beispiele die Vorzüge unseres neuen Winddrehungsgesetzes zu beleuchten, die Besprechung einer bemerkenswerthen Erscheinung sich anreihen, an deren Erklärung die Dove'sche Theorie scheiterte.

§. 8. **Die Maifröste als Konsequenz des Buys-Ballot'schen Gesetzes.** Wir haben in §. 1 des vorigen Kapitels erfahren, dass jeweils gegen die Mitte des Monates Mai eine starke Erniedrigung der Temperatur einzutreten pflegt, welche für den Obst- und Weinbau nicht selten nachtheilig wird*). Der 11., 12. und 13., in anderen Gegenden wieder der 12., 13., 14. Mai gelten dem Volke als die am meisten zu fürchtenden Tage, und die Patrone dieser Tage, der hl. Mamertus, Servatius, Pankratius, Bonifacius, werden als die „Eismänner", als die „gestrengen Herren", in den Rheinlanden auch als die „Weinverderber" bezeichnet. Dove studirte diesen auffälligen Rückgang der Temperatur genauer [61], und wenn ihm auch die schliessliche Ergründung der Ursachen nicht gelang, so hat er doch in methodischer Beziehung der künftigen Lösung in dankenswerther Weise vorgearbeitet. Namentlich lernte auch Letzterer bei diesem Studium die Wichtigkeit schätzen, welche das Zusammenfassen meteorologischer Vorgänge nach Zeiträumen von je fünf Tagen (Pentaden) besitzt**). Dove bewies noch, dass die „Maifröste" wirklich mit Vorliebe auf die vom Volksmunde bezeichneten Tage fallen, dass sie sich wesentlich auf das mittlere Europa beschränken, und dass sie mit gewissen nördlichen Winden zusammenhängen. Diess Alles hielt Dove für genügend, um Erman's Herbeiziehung kosmischer Erklärungsmomente (s. o.) als unberechtigt erscheinen zu lassen. Dove fand ferner, dass mit fast gleicher Regelmässigkeit, wie im Mai, auch im Juni eine Temperaturdepression eintrete, die nur der vorgerückten Vegetation weniger anzuhaben im Stande sei und deshalb unbeachtet bleibe. Ausser an Sternschnuppen dachte man früher auch an die aus dem hohen Norden herabtreibenden Eisberge, welche erkältend auf die europäische Atmosphäre wirken sollten, und Dove hielt sich wenigstens überzeugt, dass die Eismänner „geborene Amerikaner" seien. Die richtige Auffassung ward erst in unseren Tagen langsam angebahnt durch Billwiller, Assmann und van Bebber, der, als er [63] die Depressionsbahnen einer vergleichenden Untersuchung unterzog (s. §. 10), auch die Wahr-

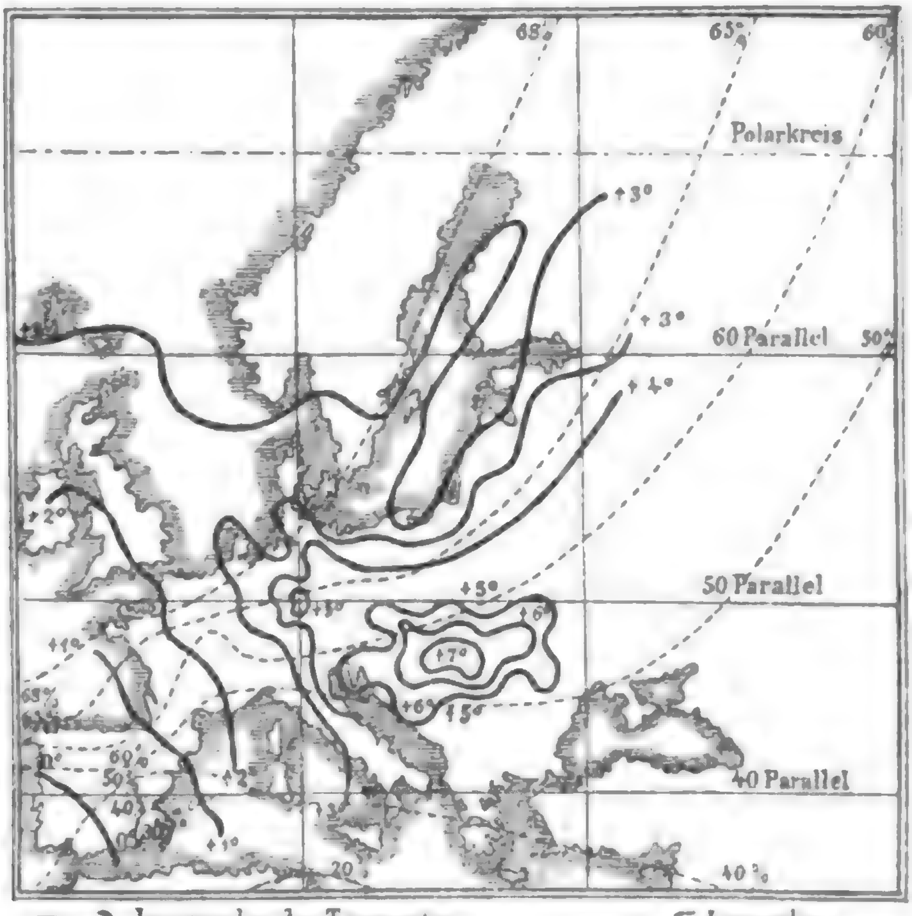
*) König Friedrich II. soll für den Unglauben, den er den Aussagen seiner Gärtner entgegenbrachte, durch den Verlust seiner ganzen Orangerie auf der Terrasse von Sanssouci bestraft worden sein.

**) Nach Hellmann rührt die erste Anwendung der Pentaden bei klimatologischen Untersuchungen von dem schwedischen Astronomen Wargentin her [62].

nehmung machte, dass das Eintreffen der barometrischen Minima im Frühling und Herbst uns Fröste bringt. Zu einer wenigstens vorläufigen Entscheidung aber wurde die strittige Frage durch v. Bezold gebracht [64].

Derselbe zerlegte die Frage in zwei Einzelfragen: „Ergiebt sich unter Zugrundelegung langjähriger Mittel für den betreffenden Zeitraum, d. h. für die Pentade vom 11. bis 15. Mai, eine Luftdruckvertheilung, welche das charakteristische Kennzeichen an sich trägt, und ist diese im Mittel eben in dieser Pentade schärfer ausgebildet, als in den unmittelbar vorhergehenden oder nachfolgenden? Welches ist die Ursache dieser eigenartigen Vertheilung des Luftdruckes gerade um diese Zeit?" Auf Ersteres eine passende Antwort zu geben, schien unmöglich, da Isobarenkarten nur für die ganzen Monate, nicht aber für die einzelnen Pentaden zur Verfügung stehen, doch fand v. Bezold Mittel, selbst solche Karten anzufertigen, und diese seine Leistung, die von einem anscheinend ganz entlegenen Hülfssatze Gebrauch macht*), bedingt den grossen Werth seiner Untersuchung, da nach

Fig. 48.



*) Dieser Satz ward von H. Wild angegeben und lautet [65]: „Es kann mit grosser Sicherheit die empirische Regel aufgestellt werden, dass die Isobaren in ihren Hauptzügen mit den Temperatur-Isanomalen übereinstimmen und sich auch annähernd mit ihnen decken, wenn man sie in südöstlicher Richtung mehr oder weniger verschoben denkt." Diese Temperatur-Isanomalen werden aber auf folgende Art erhalten: Man sucht alle Orte auf, welche für einen gewissen Zeitabschnitt — hier die dritte Mai-Pentade — eine um gleichviel von der Jahresmitteltemperatur nach oben oder unten abweichende Temperatur aufweisen, und verbindet die betreffenden Orte auf der Karte durch einen Kurvenzug.

Ausführung dieser Vorarbeiten die Ziehung der letzten Konsequenzen für den geübten Meteorologen keine grossen Schwierigkeiten mehr haben konnte. Fig. 48 stellt uns die Vertheilung der Isanomalen für Europa zur kritischen Zeit vor Augen, und da sehen wir denn, dass gerade in der dritten Mai-Pentade — weit charakteristischer als vor- und nachher — die ungarische Tiefebene sich zu einem Gebiete von sehr hoher Temperatur entwickelt, die Linien gleicher Anomalie lagern sich enge um einen Mittelpunkt herum, der etwa in der Gegend der Stadt Debreczin gelegen ist, und nicht weit davon wird nach Wild auch das Centrum der barometrischen Depression zu suchen sein. Die Theorie, wie sie zumal von Hildebrandson [66] ausgebildet worden ist, folgert dann weiter: Wenn im Frühjahr die Erwärmung Europa's von Süd nach Nord fortschreitet, so muss sich allmählig ein Umschwung in der Vertheilung von Wärme und Luftdruck ergeben, welcher dem — im nächsten Kapitel schärfer zu fixirenden — Gegensatze zwischen Meer und Festland entspricht. Wo mithin das Land in seiner Massirung den ausgesprochen kontinentalen Charakter trägt, da muss dieser Umschwung am kräftigsten vor sich gehen, und so sehen wir denn auch die Balkanhalbinsel mit dem angrenzenden Tieflande die ihr von der Theorie angewiesene Rolle durchführen, während, wie auch das Kärtchen ersehen lässt, die Rheinebene sich im Ganzen ähnlich verhält. Die Eismänner sind demnach „geborne Ungarn". — Das Weitere entfliesst nun sehr ungezwungen aus unserem Gesetze der Windbewegung, wie v. Bezold's Schlussworte ergeben [67]: „Die Balkanhalbinsel spielt die Rolle eines kleinen vorgeschobenen Kontinentes, über der angrenzenden ungarischen Ebene entwickelt sich eine grosse positive thermische Anomalie sammt niedrigem Barometerstande; zugleich schreitet im Westen Europa's ein Gebiet hohen Luftdruckes nach Norden vor, es wehen über Deutschland nach Buys-Ballot's Gesetze nördliche Winde, und diese haben den Kälterückfall im Gefolge. Alle diese Umstände wirken gerade in der dritten Mai-Pentade zusammen."

Wenn wir oben sagten, die Streitfrage sei eine vorläufig entschiedene, so wollten wir damit andeuten, dass ein Punkt auch jetzt noch der endgültigen Aufklärung harrt. An und für sich sind die Entstehungsursachen der Anomalie völlig klar gelegt, allein es ist noch nicht nachgewiesen, warum gerade die zweite Maiwoche und keine andere Zeit im Jahre dem vereinten Auftreten jener Ursachen sich günstig erweist*). Möglicherweise zwingt diese ziemlich strenge Periodicität uns doch noch dazu, ausnahmsweise einmal einen der sonst gegen-

*) Zu grosser Genugthuung des Verf. ist dieser Erwägung, welche derselbe bereits bei seiner Besprechung der v. Bezold'schen Schrift in der wissenschaftlichen Beilage der „Allgem. Zeitung" andeutete, neuerdings auch von van Bebber [68] und W. Koppen [69] bestimmt Ausdruck gegeben worden. Billwiller, der in seiner ersten Publikation über den Gegenstand [70] die Kälteerscheinungen ganz richtig auf eine im Osten liegende barometrische Depression, deren Ort er allerdings in Russland suchte, zurückgeführt hat, behauptet neuerdings, es sei ganz müssig, dem Zusammenfallen des Temperaturrückganges mit der dritten Mai-Pentade nachspüren zu wollen, da die von Köppen behauptete Periodicität in Wirklichkeit gar nicht existire [71]. Unseres Erachtens geht dieselbe aber aus v. Bezold's Zusammenstellung ganz unwiderleglich hervor.

wärtig ziemlich gering geschätzten kosmischen Erklärungsfaktoren zuzulassen.

§. 9. **Regelmässige und unregelmässige Windsysteme.** Unser Bestreben ist, darzuthun, dass alle Formen von Wind, welche wir auf unserer Erde kennen, sich den Gesetzen fügen, welche wir in §. 7 als die maassgebenden kennen gelernt haben. Zu dem Ende betrachten wir zunächst alle diejenigen Spezialitäten, für welche man schon vor dem Bekanntwerden des Buys-Ballot'schen Gesetzes eine befriedigende Erklärung gefunden hatte, und zeigen alsdann, dass diese Erklärungen nur Unterfälle derjenigen sind, welche auch für die allgemeinen oder regelmässigen Windsysteme genügen.

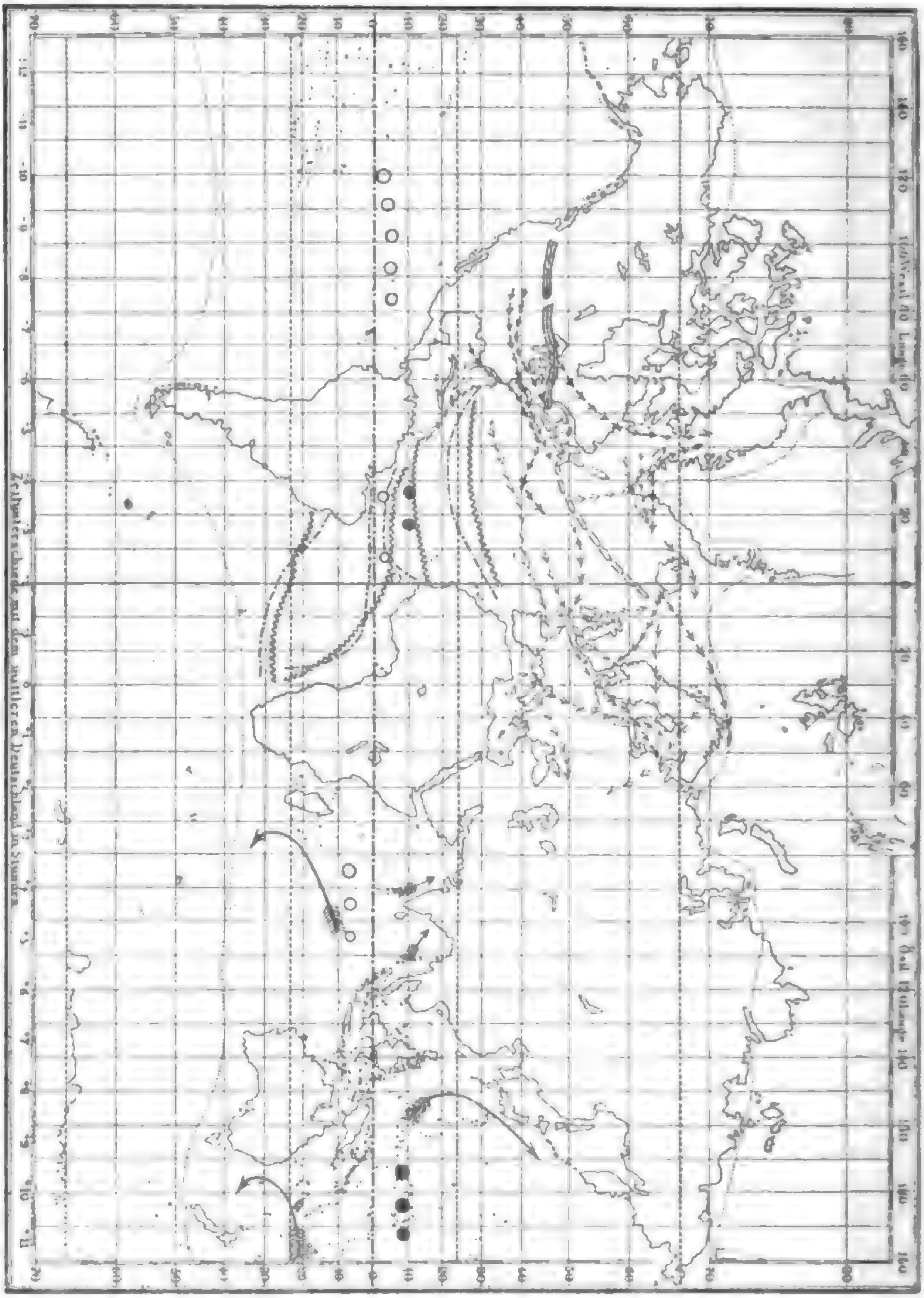
a) **Die Passatwinde.** Innerhalb einer gewissen Zone nördlich und südlich vom Aequator wehen regelmässige Winde, über deren stets gleichbleibende Richtung und Stärke bereits Colon freudiges Staunen äusserte, und seinem Vorgange entsprechend, wurde es bei den europäischen Seefahrern Sitte, den Gürtel dieser Winde aufzusuchen und sich von ihnen dann mühelos an die amerikanische Küste treiben zu lassen. „Die Tropenzone," sagt Hann [72], „ist das Gebiet vorherrschender östlicher Luftströmungen, spezieller nordöstlicher Winde auf der nördlichen und südöstlicher Winde auf der südlichen Hemisphäre". Diess sind die sogenannten Passate („trade-winds" bei den Engländern, „vents alizés" bei den Franzosen). Zwischen ihnen liegt eine Zone, die an Breite wechselt und durch häufige Windstillen sich auszeichnet, während im Uebrigen in ihrem Bereiche keine Windrichtung besonders vorherrscht; diess ist die Zone der Kalmen („Doldrum"). Weder die Passatzonen, noch die Kalmenzone sind an unveränderliche Grenzen gebunden, vielmehr wandern dieselben, dem scheinbaren Laufe der Sonne folgend, hin und her, so jedoch, dass die Kalmenzone immer nördlich vom Aequator bleibt und nur ganz wenig über diesen nach Süden hinübergreift. In Fig. 49 sehen wir durch weiss gelassene kleine Kreise die Kalmen des Januar, durch schwarze Kreise diejenigen des Juli bezeichnet; auch sind die wechselnden Grenzlinien der Passatzonen für die genannten beiden Monate in die Karte eingetragen. Genauere Angaben über die Lage der Grenzen im März und September findet man bei Hann [73]. Bislang war nur vom unteren Passat die Rede; der obere Passat ist eine Luftströmung, welche in den höheren Partieen der Atmosphäre eine derjenigen des unteren Passates direkt entgegengesetzte Richtung einhält. Die höheren Berggipfel ragen bereits in den oberen Passat hinein, der z. B. auf dem neuerdings viel genannten Camerun-Gebirge in einer Höhe von 4000 m als scharfer Südwest zu spüren ist [74], und Asche, welche dem Pik von Teneriffa entstammte, ist durch den auf der Nordhalbkugel von Südwest nach Nordost wehenden Oberpassat bis in die Polarländer transportirt worden (s. I. Band, S. 351). Je weiter der obere Passat nach Norden, resp. Süden vordringt, um so mehr senkt er sich gegen die Erde herab*). Fig 49 bringt die Passatgrenzen und Kalmen zur Anschauung.

---

*) Ersichtlich fehlte, wie man jetzt erkennt, Dove darin, dass er eine unter den Tropen mit grosser Regelmässigkeit vor sich gehende Luftbewegung als eine

Die erste physikalische Erklärung der Passate lieferte das Hadley'sche Princip (s. o. §. 5). Wir wissen, dass dasselbe mit einem

Fig. 49.



Sturmbahnen im Allgemeinen; Sturmbahnen denen etwa 38, Sturmbahnen, denen etwa 12–15, Sturmbahnen, denen etwa 6–12, Sturmbahnen, denen etwa 3–6 Minima im Jahre folgen. O Kalmen des Januar ● Kalmen des Juli, —— Passatgrenze in Januar, ~~~~ Passatgrenze im Juli.

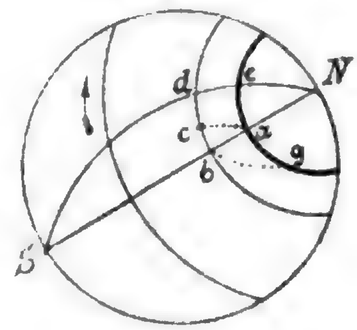
fundamentalen Gebrechen behaftet ist, aber wir wissen auch, welche Korrektur daran anzubringen ist, und so können wir deshalb recht gut

---

Norm betrachtete, welche, wenn auch minder scharf umgrenzt, auch für die ektropischen Breiten gelte.

die Erklärung dieses Phänomenes an die nicht blos geschichtlich interessante Darlegung Kant's anknüpfen, welche sich unter dem Titel „Ein Gesetz der Passatwinde aus der Umdrehung der Erde“ in seinen nachgelassenen Papieren fand [75], nachdem er schon früher in dem literarischen Versuche „Einige Anmerkungen zur Erläuterung der Theorie der Winde“ einige ganz auffallend richtige Gedanken ausgesprochen hatte [76]. Fig. 50 begleitet er mit folgender Erläuterung. Jeder Nordwind hat auf der Nordhalbkugel ein Bestreben, in einen Nordostwind umzuschlagen. Der in a befindliche Luftpunkt wird von einer Kraft angegriffen, welche ihn von Nord nach Süd zu bewegen unternimmt, und zwar würde ihn diese Kraft für sich allein in der nämlichen Zeit von a nach b bringen, während welcher er ausschliesslich durch die Erdrotation von b nach c gelangen würde. Beide Bewegungen im Vereine bewirken, dass der Punkt den Weg ac beschreibt, indem arc dc = arc ea wird, wo d und e mit dem Nordpol N und dem Südpol S auf einem und demselben grössten Kreise liegen. Würde umgekehrt der Wind eine südnördliche Richtung innegehalten haben, so würde ein Luftpunkt von b aus durch den „Diagonalbogen“ bg hindurchgegangen sein, und es wäre arc ag = arc db. Auf der Südhalbkugel verhält sich Alles gerade umgekehrt, von beiden Hemisphären aus weht der Wind nach dem Orte chronischer Luftverdünnung hin, nach dem Aequator. Unter der Linie selbst wehen nach Kant, der von den Kalmen offenbar noch wenig wusste, perennirende Ostwinde, „weil die Nebenrichtungen sich daselbst durch gegenseitigen Widerstand aufheben müssen“ *).

Fig. 50.



b) **Die Monsune.** Ganz klug waren auch die Ansichten, welche Kant über die Entstehung der Monsunwinde („Moussons“) äusserte [77]. In Folge des von ihm skizzirten Gesetzes der Erwärmung, so meint er, werden um die Wendekreise herum zwei Luftströme mit einander im Laufe des Jahres abwechseln, je nachdem die Sonne auf der einen oder anderen Seite des Aequators sich befindet. Beobachtungen aus Westindien und Neuguinea sprächen deutlich hiefür. Ein grosses zusammenhängendes Land, wie „Indostan“, verdünne ferner zur Zeit der grössten Sonnenhöhe in Folge seiner starken Erhitzung ganz ähnlich, wie es sonst nur die äquatorialen Länder zu thun vermöchten. Daraus, dass im indischen Ocean von einer gewissen Stelle ab der Monsun aufhören und durch einen südöstlichen Passat ersetzt werden soll, zieht Kant bereits einen Schluss auf das Vorhandensein eines australischen Kontinentes. — Der erste Theil von Kant's Deduktion ist nur cum grano salis richtig, den zweiten hat die meteorologische Wissenschaft voll und ganz in sich aufgenommen. Jeder Kontinent erzeugt in der von Kant geschilderten Weise Monsunwinde, wenn auch dieser Name ihnen nur in besonderen Fällen beigelegt

*) Kant's Schluss stützt sich auf das Parallelogramm der Kräfte. Treffen eine genau nordöstliche und eine genau südöstliche Bewegung von gleicher Intensität in Einem Punkte zusammen, so muss die resultirende Bewegung allerdings eine rein östliche werden.

wird. Es tritt hier eben im grossen Maassstabe jener Process der Luftauflockerung und der vertikalen Luftcirkulation ein, mit dem wir schon in §. 4 Bekanntschaft schlossen; an den Rändern der Kontinente bilden sich nach Hann [78] stets die regulären Luftströmungen der heissen Zeit (Sommermonsune) in der durch folgendes Schema bezeichneten Art:

	Westküste	Nordküste	Ostküste	Südküste
Nordhalbkugel	Nordwest	Nordost	Südost	Südwest
Südhalbkugel	Südwest	Nordwest	Nordost	Südost

Das indische Meer ist recht eigentlich der Schauplatz der Monsunwinde*) im strengsten Wortsinne, welche ein Halbjahr aus Südwest, das andere Halbjahr aus Nordost wehen, wogegen der für das hinterindisch-australische Tropengebiet charakteristische Nordwestmonsun, welcher von der Südhälfte Sumatra's und Borneo's an bis hinüber zu den Neuen Hebriden und Salomons-Inseln weht, „nach Intensität und Mächtigkeit nur ein schwächliches Analogon des Südwestmonsuns von Südasien ist“ [79]. Eine sehr genaue Beschreibung der gesammten Monsunwinde liefert Schück in seiner — nur im Auszuge veröffentlichten — Monographie „Die Monsune der ostasiatischen Meere“ **). Auf Grund sorgfältger Einziehung der Beobachtungsresulate in Gradfelder (vgl. Kap. X, §. 4) fand Schück, dass die Ost- und Westhälfte der bengalischen See in ihren Windverhältnissen sehr von einander abweichen. „Im Gesammtüberblick scheint nördlich von 19° lat. N. der Südwestmonsun den Nordwestmonsun zu überwiegen, da beide zwar 5 Monate wehen, der Südwest aber doch noch häufiger. Weiter südlich gleicht sich das Verhältniss mehr aus, doch trifft man bis zum Aequator zur Zeit der resp. Monsune Südwest häufiger, als Nordost. Das Uebergangsgebiet vom Windsystem der nördlichen Hemisphäre in das der südlichen beginnt nördlich vom Aequator, dehnt sich aber bis südlich von demselben aus. Weder die östliche Hälfte noch die nördliche hat mit der westlichen resp. südlichen gleiche Uebergangsmonate; es werden diese bestimmt durch den Einfluss, welchen der Stand der Sonne auf die verschiedene Begrenzung übt“. Wesentlich anders liegen die Dinge im chinesischen Meere. „Im Grossen und Ganzen überwiegt dort der Nordostmonsun den Südwestmonsun in hohem Grade, und zwar nimmt seine Dauer von 23° lat. N. bis zur Linie von 8 bis zu 5 Monaten ab. Der Südwest herrscht im südlichen Theile 5, im nördlichen nur 3 Monate; der Uebergang aus einem Monsun in den anderen wechselt ebenfalls mit der Breite, ist im Herbst auch viel rascher, wie im Frühjahr. Im westlichen Theile der Java-See, im Eingange zur China-See, in der Sundastrasse und von dieser ab herrscht der Südostmonsun 6 Monate, der Nordostmonsun ist nicht so deutlich ausgesprochen,

*) Zu den Monsunwinden gehören auch die in den olynthischen Reden des Demosthenes so häufig vorkommenden Dauerwinde des ägäischen Meeres, die Etesien.

**) Mittheilung aus dem vom Autor freundlichst zur Disposition gestellten Manuskripte.

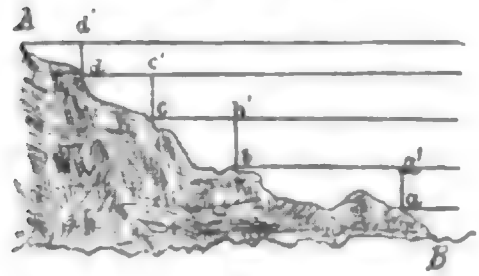
sondern in den ersteren Gegenden scheint der Wind mehr aus nördlichen Richtungen, in letzteren mehr aus westlichen zu wehen. Die Inselgruppen beeinflussen durch die Erzeugung von Land- und Seebrise die allgemeine Richtung in hohem Maasse. Der westliche Theil des stillen Oceanes spürt ebenfalls die Nähe der Kontinente, indess reicht in unserem Sommer der Südwestmonsun zwischen der Linie und 25° lat. N. kaum so weit nach Norden, wie im chinesischen Meere."

c) **Land- und Seewinde.** Hier haben wir im Kleinen dasselbe Spiel der Luftmassen vor uns, welches die Monsune im Grossen boten. Des Tages über wird das Land stärker erwärmt als das einer weit grösseren Wärmekapacität sich erfreuende und deshalb ebensowohl langsamer sich erwärmende, wie langsamer sich abkühlende Meer; es bildet sich demnach ein aufsteigender Luftstrom über dem Lande, und der Wind weht vom Wasser nach dem Lande hin. Bei Tage geht die Luftauflockerung energischer über dem Wasser vor sich, und der Wind erhält die entgegengesetzte Richtung. Natürlich gilt diess nur für die dem Erdboden näher gelegenen Schichten der Atmosphäre, während weiter oben der ausgleichende entgegengesetzt gerichtete Luftstrom herrscht. Nach Versuchen, welche auf Coney-Island bei New-York mit einem „Ballon captif" angestellt wurden, reicht die Seebrise des Nachmittages ungefähr bis zu einer senkrechten Höhe von 150 m, während bei 200 m bereits die Landbrise weht [80]. In gewissen Küstengegenden der Tropen beherrscht der Wechsel zwischen Land- und Seewind die Luftcirkulation so, dass vom Passate gar nichts zu bemerken ist [81]. Auch Binnenseen geben wohl Anzeichen von dem Bestehen dieses Gegensatzes zwischen Land und Wasser, die Erscheinung komplicirt sich jedoch daselbst meistens zu enge mit der jetzt zu schildernden.

d) **Berg- und Thalwinde.** Die Gebirgswinde und die auffallenden Analogieen, welche zwischen ihnen und dem unter c) geschilderten Windsysteme obwalten, sind erst in neuerer Zeit der Beachtung gewürdigt worden, welche sie vollauf verdienen. Der von uns für die alternirende Luftbewegung gebrauchte Name Berg- und Thalwinde ist der gebräuchliche, wenn auch vielleicht minder bezeichnende; Hann spricht von Tag- und Nachtwinden der Thäler und giebt von deren hervorstechenden Eigenschaften, im Anschlussse an Fournet, nachfolgende Charakteristik [82]: „Diese Luftströmungen entwickeln sich am stärksten in den Thälern, ohne ihnen ausschliesslich eigen zu sein, denn sie äussern sich längs allen Abhängen, und der Strom der Thäler ist nur das Resultat von partiellen aufsteigenden Bewegungen (Tag) oder lateralen Kaskaden (Nacht). Der Uebergang von der absteigenden zur aufsteigenden Bewegung ist rascher in engen und kurzen, schluchtartigen Thälern, langsamer in weiten Thalbecken, wo die aufsteigende Bewegung meist erst gegen 10^h Morgens frei im Gange ist, und der absteigende Nordwind erst gegen 9^h Abends regelmässig zu werden anfängt. Die Uebergangszeiten schwanken mit den Jahreszeiten. Die Konfiguration des oberen Theiles der Thäler übt einen grossen Einfluss auf diese Winde aus, nach den Stunden und Jahreszeiten; so wird sie bald ausgeprägter bei Tag, als bei Nacht, bald umgekehrt stärker bei Nacht, als bei Tag. Zuweilen ist der Winter mit seinen Schneefällen den Nachtwinden am günstigsten, während da-

gegen im Allgemeinen der Sommer die Tagwinde verstärkt." Alpenkenner sind mit einer Menge von lokalen Windbezeichnungen vertraut, welche auf den vom Gebirge herabwehenden Wind hinweisen; wir nennen so die „Breva" und den „Tivano" am Lago di Como, den „Unterwind" und „Oberwind" an den oberösterreichischen Seen, welch' letzterer am Traunsee unter Umständen als „Viechtauer Wind" auftritt, den „Erler Wind" im Innthale nördlich von Kufstein, den „Wisper Wind" im Thale des Rheines. Mit diesem hat uns J. Berger genauer bekannt gemacht [83]. Lediglich Ein Punkt bleibt noch aufzuklären: Warum steigen die erwärmten Luftmassen nicht, wie sonst, senkrecht empor, sondern machen sich als mehr oder minder horizontal gegen die Berghänge gerichtete Winde ihre Bahn? Hann erklärt diese Abweichung sehr geistreich [84]. Es sei AB (Fig. 51) ein Bergabhang, durch die Punkte A, B und die dazwischen liegenden Punkte d, c, b, a seien horizontale Ebenen gelegt. Wir nehmen an, die Luft sei zu Ende der Nacht in vollkommener Ruhe, allenthalben herrsche der nämliche Luftdruck; sowie nun die Sonne kommt und die Luft erwärmt, wird das Gleichgewicht gestört, und die Luft muss dem Abhange zufliessen. Die Säule a a', welche zuerst in Betracht gezogen werden möge, dehnt sich aus, der Druck in a' steigt, weil die von unten kommende Luft aus aa' ihren Druck nach oben ausübt, in b aber ist ein derartiger Schub von unten natürlich nicht vorhanden. Ganz in gleicher Weise wird b' gegen c, c' gegen c, d' gegen A gehoben, die isolarischen Gleichgewichtsflächen verlieren ihre Horizontalität und erhalten eine Neigung gegen den Berg hin, und in jedem einzelnen Niveau wird der Luft ein Gefälle in dieser Richtung ertheilt, welches eben eine Bewegung in horizontalem Sinne einleitet. Als Diagonale aus diesem und dem vertikal aufwärts gehenden Impulse stellt sich die bergaufwärts gerichtete Luftströmung dar, mit welcher wir es eben zu thun haben. Eine scheinbare Ausnahme von dieser Regel, welche im Maloja-Pass (Oberengadin) beobachtet wird, ist von Billwiller geschickt auf dasselbe Princip zurückgeführt worden [85]. —

Fig. 51.



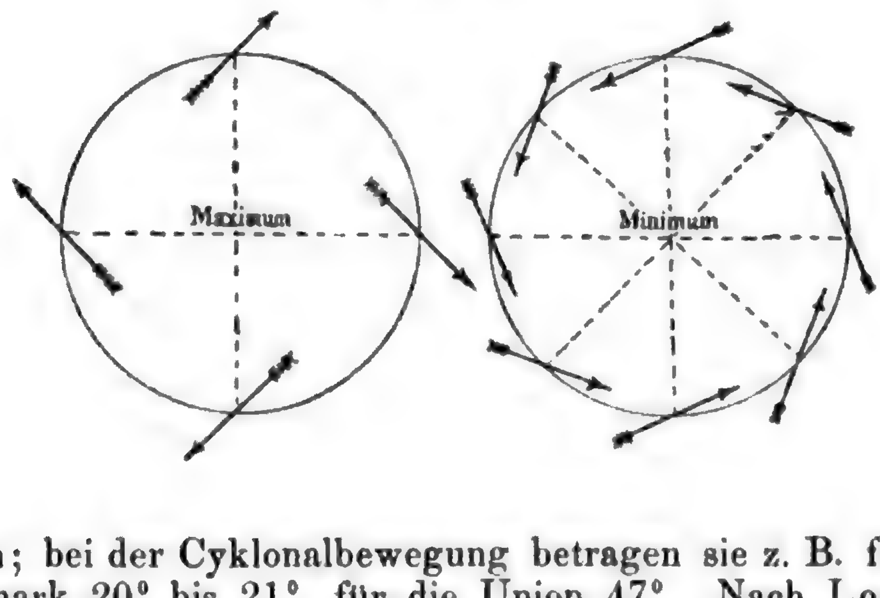
Sehen wir nun zu, wie mit diesen, wie gesagt, in ihrer Grundlegung schon auf frühere Zeiten zurückreichenden Theorieen diejenigen vereinbar sind, welche man sich mit Rücksicht auf die Gesetze von Buys-Ballot und Stevenson von den Winden überhaupt gebildet hat, und welche man in übersichtlichster Weise in Supan's „Statistik der unteren Luftströmungen" auseinandergesetzt findet. Die Isobare, längs welcher der Normaldruck von 760 mm stattfindet oder, nach Prestel's Bezeichnung, die Mesobare, trennt das Gebiet der Pliobaren (πλεῖον, mehr und βάρος) von dem der Miobaren (μεῖον, weniger und βάρος). Jedem dieser beiden Gebiete ist eine typische Windgattung eigenthümlich, wenn auch nicht mit Ausschliesslichkeit. Da nämlich, wo ein ungewöhnlich hoher Druck herrscht, strömt die Luft von dem Mittelpunkte des Druckes, dem barometrischen Maximum, nach allen Seiten ab, man hat eine sogenannte Anticyklonalbewegung, und jeder an einer solchen theilnehmende Wind heisst Anti-

cyklone. Umgekehrt strömt im Miobarengebiete die Luft allseitig gegen den Ort geringsten Druckes, d. h. gegen das barometrische Minimum, hin, man hat dann eine Cyklonalbewegung, und jeder an ihr theilnehmende Wind heisst Cyklone. Stände die Erde stille, so würden alle diese Bewegungen in der kürzesten Linie vor sich gehen, die Erdumdrehung bewirkt aber, dass die Windbewegung in Kurven vor sich geht, wie sie Fig. 47 für die nördliche Halbkugel zur Anschauung bringt.

Nach Supan [86] kann man sieben barometrische Zonen unterscheiden: erstens die tropische Miobare, sodann die nördliche und südliche subtropische Pliobare, weiterhin eine nördliche und südliche Miobare der gemässigten Zonen und endlich eine nördliche und südliche polare Pliobare. Die Vertheilung von Wasser und Land, mit ihren so verschiedenen Erwärmungsverhältnissen, beeinflussen diesen idealen Zustand in der Weise, wie es uns die Isobarenkarte (Fig. 46) lehrte. Dove's Bezeichnungsweise der Winde darf die Meteorologie wohl als bequem und sinnenfällig beibehalten, nur muss sie in jedem Augenblicke dessen eingedenk bleiben, dass nicht der Entstehungsort, sondern nur die ungefähre Richtung durch Dove's Windnamen angegeben wird.

Der Process der Luftbewegung wickelt sich bei den Anticyklonen weit ruhiger ab, als bei den Cyklonen [87]. Bei ersteren befindet sich die Luft in langsam aufsteigender, bei letzteren gewöhnlich in rasch absteigender Bewegung. Das veränderliche Wetter pflegt deshalb mehr die Cyklone zu begleiten. Die Winkel, welche die vom Maximal- und Minimalpunkte nach den Spiralen gezogenen Fahrstrahlen mit den Windrichtungen einschliesssen (Fig. 52), sind an Grösse sehr

Fig. 52.



verschieden; bei der Cyklonalbewegung betragen sie z. B. für England und Dänemark 20° bis 21°, für die Union 47°. Nach Loomis, der die nordamerikanischen Windverhältnisse besonders gründlich studirt hat [88], sind in jenem Lande der meteorologischen Gleichförmigkeit die Windbahnen wirklich sehr häufig die von der Theorie des §. 4 geforderten logarithmischen Spiralen mit einem konstanten Schnittwinkel von 42°, und zwar gilt dieses Gesetz, den auf Mount Washington gemachten Erfahrungen zufolge, bis in eine bedeutende Höhe hinauf. — Sonst kann gerade diese Beziehung zwischen oben und unten nicht als gültig betrachtet werden, vielmehr muss nach den in dieser

Hinsicht klassischen Arbeiten des Schweden Hildebrandson [89] ein tiefgreifender Unterschied zwischen oberen und unteren Luftströmungen als das für Europa Normale gelten. In den höheren Schichten unserer Atmosphäre wehen daselbst die Winde von den Orten niedrigen Luftdruckes fort und nach den Orten hohen Luftdruckes hin. Je höher man steigt, um so mehr nähert sich der Schnittwinkel der Windrichtung mit den Isobaren einem rechten, um so energischer konvergiren die Windrichtungen gegen die Centra hohen Druckes hin, um so entschiedener gestalten sie sich entgegengesetzt den Richtungen, welche die an der Erdoberfläche wehenden Winde einhalten. Das Buys-Ballot'sche Gesetz hat somit für die höheren Luftregionen keine uneingeschränkte Gültigkeit mehr, seine Gültigkeit für jene ist vielmehr blos noch eine lokale. Da die Cirruswolken, wie wir wissen (Kap. I, §. 3) eben in den höchsten Schichten des Luftkreises schweben, so konnte Prestel [90] mit einigem Rechte darin ein neues Hülfsmittel der Prognose erkennen, dass er annahm, die Cirruswolken folgten einer Bahn, welche die Punkte geringen Druckes in einer Miobarenfläche mit Punkten starken Druckes in einer Pliobarenfläche verbindet.

Fügen sich nun die Passatwinde diesen generellen Gesetzen ein? Offenbar ja, denn wenn wir uns Entstehung und Erklärung dieser regelmässigen Winde in das Gedächtniss zurückrufen, können wir sagen: Die Passate unterscheiden sich von den Cyklonen nicht principiell, sondern nur darin, dass das miobarische Gebiet für die Cyklone ein relativ kleines und annähernd kreisförmiges, für die Passate aber ein sehr langgestrecktes ist, oder, wie man sich auch ausdrücken könnte, die Passate haben nicht alle vier Quadranten der Cyklonalbewegung, sondern blos deren zwei ausgebildet. Die Monsune setzen sich aber wieder aus zwei Passatbewegungen zusammen *), und die Land- und Seewinde, wie die Berg- und Thalwinde sind nichts als verkleinerte und lokalisirte Nachbildungen der Monsune. Man darf es somit aussprechen, dass eine durchgreifende Gesetzmässigkeit sämmtliche Winde der Erde, wenigstens bis zu einer gewissen Höhe über dem Seespiegel, beherrscht.

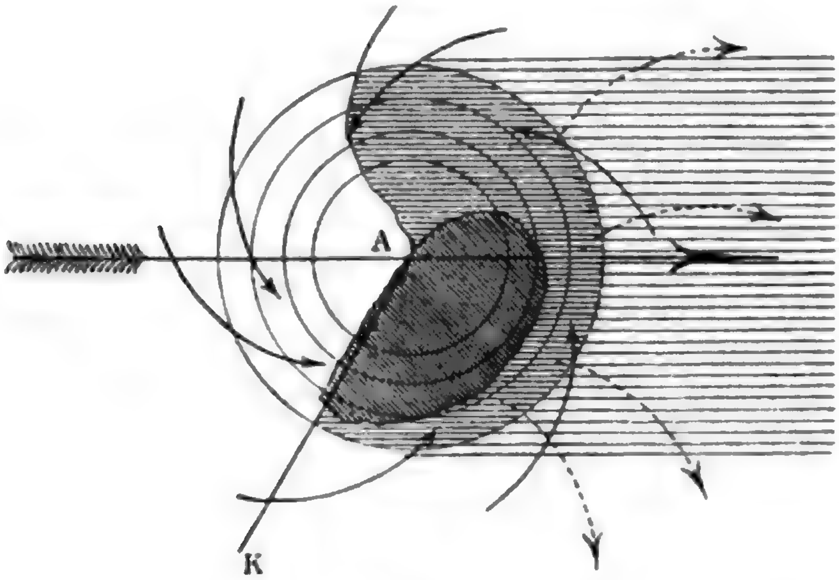
§. 10. **Bildung und Fortbewegung der barometrischen Minima.** Eine Einsicht in das Wesen der Windbewegung konnte nur vermittelt werden, indem man diejenigen Punkte, von welchen der Anstoss zu dieser Bewegung ausgeht, nämlich die Punkte barometrischer Elevation und Depression, als stabil annahm. In Wirklichkeit sind sie diess natürlich nicht, sie entstehen vielmehr, schreiten fort und verschwinden. Ueber diese ihre Bildungs- und Fortschreitungsverhältnisse haben wir uns also jetzt zu verständigen, damit wir dazu aber im Stande seien, müssen wir uns zuvor vergewissern, welchen Einfluss die Bewegung der Centra auf das Wetter, als auf die direkt

*) Supan's Ansicht, dass die Monsune gar keine selbstständigen Winde, sondern theils cyklonische Winde, theils rückläufiger Passat seien, können wir in dieser Unbedingtheit nicht zu der unsrigen machen, so sehr wir im Uebrigen die vielfach originellen Aufstellungen des österreichischen Geographen billigen.

zu unseren Sinnen sprechende Beurkundung der Luftbewegungen, ausübt. Die barometrischen Maxima interessiren uns dabei weit weniger, weil sie erweislich für die Witterungsverhältnisse ziemlich neutral bleiben, um so mehr thun diess aber die Minima, deren zeitlichen und räumlichen Bedingungen wir an der Hand der Darstellung van Bebber's [91] nachgehen wollen.

Der grosse, gerade Pfeil in Fig. 53 bedeutet die Fortschreitungsrichtung einer solchen Depression, welche, um die Ideen zu fixiren,

Fig. 53.



als von England her durch das Skager Rack nach Südskandinavien sich bewegend angenommen werden möge. Bei'm Herannahen des Minimums geht südlich vom Pfeile der Wind nach Südost herum und frischt auf, alsdann dreht er sich dem Buys-Ballot'schen Gesetze gemäss durch Süd herum nach Südwest. Das Wetter ist und bleibt für's Erste heiter, wiewohl die näher und näher kommende Luftverdünnung das Barometer zum Sinken bringt, auch treten bereits die das künftige schlechte Wetter signalisirenden Cirri am Westhorizonte auf. Diese Wolken nehmen zu, Kumulus und Nimbus (Kap. I, §. 3) folgen, und es fällt gewöhnlich so lange Regen, als sich der Mittelpunkt der Depression noch westlich vom Beobachtungsorte befindet. Wenn der erstere vorübergegangen ist, so setzt der Wind um, bläst aus Nordwest, indem er zugleich an Stärke zunimmt, versendet Regen und anderweite Niederschläge und dreht sich immer mehr nach Norden, während zugleich der blaue Himmel wieder durchbricht. Ruckweise Stürme, Regen- und Hagelschauer halten noch einige Zeit nach, dann aber beginnt das Barometer wieder zu steigen, der Wind flaut, die Schleussen des Himmels schliessen sich, und es besteht solange heiteres Wetter, bis von Westen her ein neues Minimum sich anmeldet. Liegt der Ort des Beobachters nördlich von dem Pfeile, so ändern sich die Verhältnisse nur insoferne, als jetzt die Drehung der Winde im entgegengesetzten Sinne, der Uebergang von einer Witterungsform zur anderen aber langsamer und nicht so ruckweise erfolgt. Die ausgezeichneten Pfeile unserer Figur geben die Richtungen der Winde in den unteren, die punktirten Pfeile jener in den oberen Luftschichten an, die koncentrischen Kreise sind die Iso-

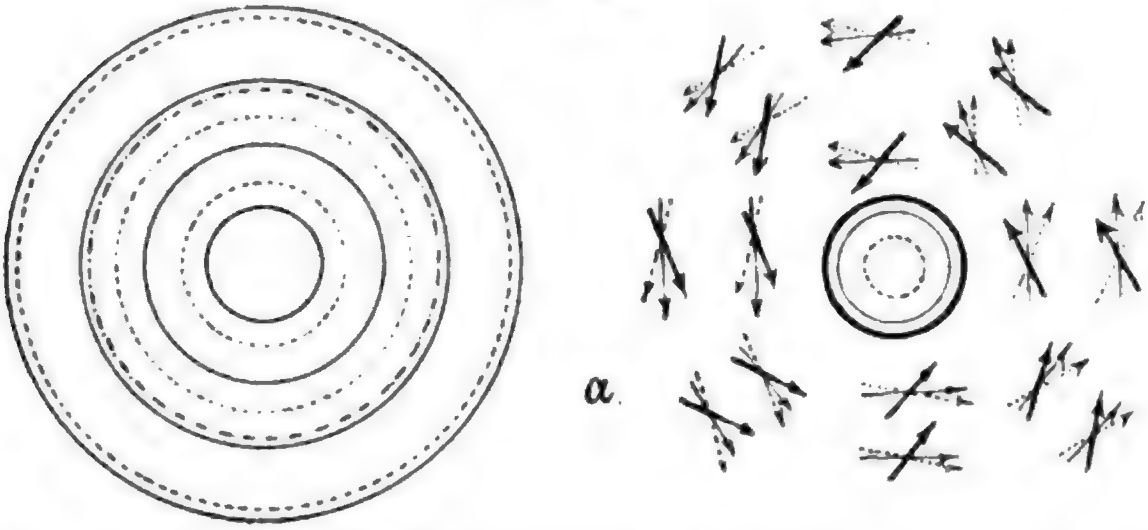
baren, die Linie AK endlich ist die Aufklarungslinie, längs deren der Umschlag der Witterung sich vollzieht.

Cl. Ley, dem die Wissenschaft für die Herstellung des hier skizzirten Witterungsbildes in erster Linie zu Dank verpflichtet ist, fasst neuerdings die Ergebnisse seiner Studien über Bildung und Wanderung der Depressionen in folgenden Thesen zusammen [92]. I. Barische Gebiete, d. h. atmosphärische Räume, die von einer in sich zurücklaufenden Isobarenfläche begrenzt sind, neigen in den gemässigten Zonen zu runden oder doch ovalen Formen, was namentlich für die miobarischen gilt; II. Plio- und miobarische Gebiete unterscheiden sich durch den Drehsinn der ihnen angehörigen Windsysteme; III. Gebieten niedrigeren Druckes haftet in aussertropischen Breiten die Neigung an, sich ostwärts zu bewegen, wogegen Gebiete hohen Druckes bei geringer Ausdehnung gerne der Bewegung benachbarter Depressionen folgen und bei grösserer Ausdehnung überhaupt keine ausgesprochene Bewegungstendenz bekunden; IV. die Bewegungsrichtung schwankt im westlichen Europa gewöhnlich zwischen Nord-Nordost und Süd-Südost, indem jedes Depressionsgebiet ursprünglich unter einem Winkel von 15° gegen die niederen Isothermen fortschreiten möchte; V. gebirgige Gegenden üben eine anziehende, Küsten eine zurückhaltende Wirkung auf die Minima aus; VI. eine Depression wandert auf der Nordhalbkugel am leichtesten in einer Richtung fort, bei welcher sie den höheren Druck auf der rechten Bahnseite hat; VII. für die Entstehung und Ausdehnung von Depressionsgebieten sind Niederschläge charakteristisch, mit deren Aufhören dann auch die Depressionen zusammenschrumpfen oder sich vertheilen; VIII. dieser Einfluss der Niederschläge ändert sich gewöhnlich umgekehrt, wie die allgemeine Temperatur der Atmosphäre; IX. und X. was in IV. gesagt ward, gilt im Allgemeinen auch für die oberen Strömungen in unserer Lufthülle, nur dass dieselben, wie bekannt, nicht dem Buys-Ballot'schen Gesetze folgen; XI. die Axe eines fortschreitenden Depressionswirbels pflegt nach rückwärts geneigt zu sein. — Von diesen Sätzen gehören einige schon geradezu zum eisernen Bestande der dynamischen Meteorologie, andere harren noch der Bestätigung, einzelne auch bedürfen der Berichtigung. Dieselbe hat W. Köppen ihnen angedeihen lassen [93], indem er zu Ley's Thesen noch folgendermassen A, B, C und D hinzufügte: A. Die Richtung der Luftströmung ist in unseren Breiten bis etwa zu 3500 m Seehöhe nahezu parallel den Isobaren der betreffenden Schicht, und zwar tiefer unten nach der Seite des niedrigen, weiter oben nach der Seite des hohen Druckes von der Isobare abweichend; B. weil der Druck in warmer Luft langsamer mit der Höhe abnimmt, als in kalter, so ändern sich die sonst dem Luftdrucke proportionalen Gradienten nach aufwärts in der Weise, dass auf der Seite der wärmeren Luftsäule ein Ueberdruck entsteht; C. die Fortpflanzung der Depressionen geschieht annähernd in der Richtung der nach ihrer Gesammtenergie präponderirenden Luftströmung; D. da die Bewegungsverhältnisse in verschiedenen Höhen des Wirbels auch verschiedene sind, so ist für dessen Fortpflanzung nicht blos der Bewegungszustand der untersten Schicht, sondern der des ganzen Luftwirbels entscheidend, im Allgemeinen also derjenige einer gewissen mittleren Schicht, deren Höhe

aber erst noch zu bestimmen ist. Ley's Thesen V, VII und VIII können durch folgende kumulative Fassung ersetzt werden: Gebirgige Gegenden werden, ihrem Regenreichthum zum Trotz, seltener von Depressionen heimgesucht, als die umliegenden Flachländer und Meere, wie denn überhaupt der Einfluss der Niederschläge auf Ursprung und Gang der Minima noch lange nicht genügend aufgeklärt erscheint.

Wie man hieraus ersieht, haben Ley und Köppen dadurch einen bedeutenden Schritt vorwärts gethan, dass sie für die verschiedenen Schichten der Atmosphäre die Ortsflächen gleichen Luftdruckes nur im engsten Zusammenhange mit den Ortsflächen gleicher Temperatur in's Auge gefasst haben*). In Fig. 54

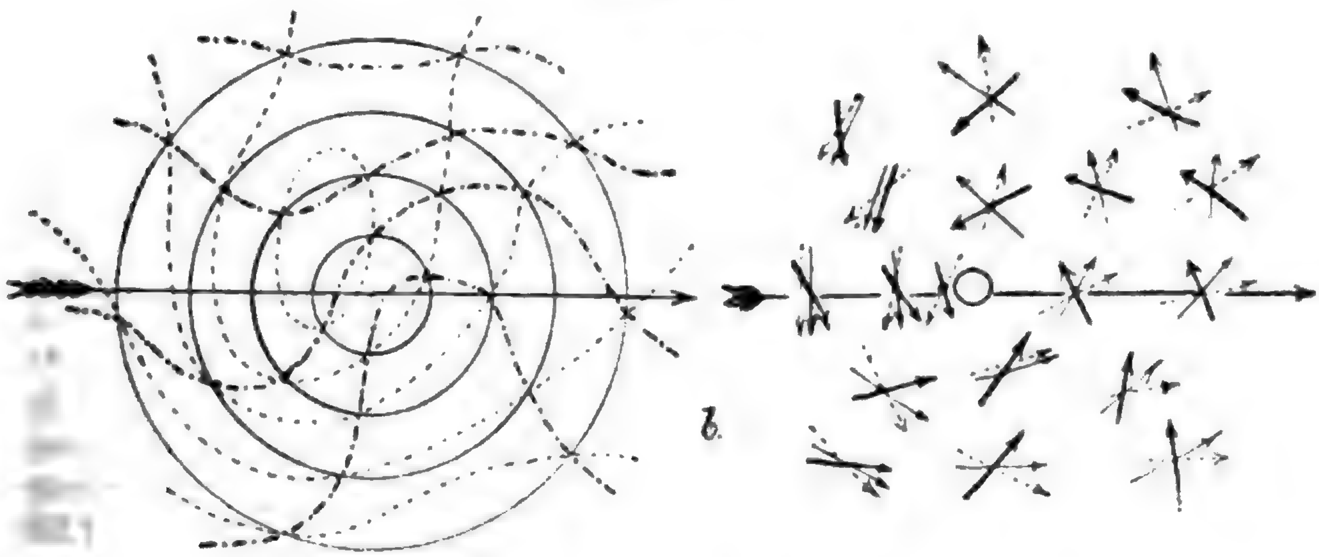
Fig. 54.



a.

ist nach Köppen die durchschnittliche Druckvertheilung in der Cirrusschicht einer fortschreitenden Depression dargestellt. Fig. 54a ent-

Fig. 54.



b.

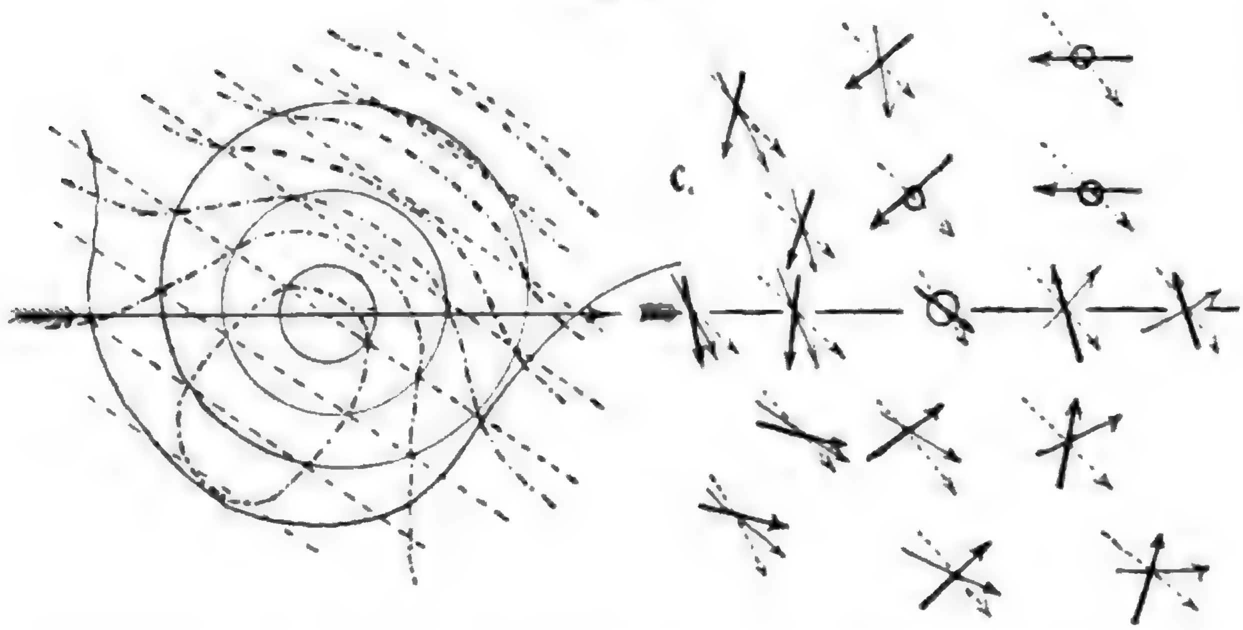
spricht etwa dem Satze A, Fig. 54b dem Satze B, Fig. 54c dem Satze C. Die ausgezogenen Kreise sind die Isobaren am Meeres-

---

*) In seiner beachtenswerthen, dem Verf. jedoch leider zu spät bekannt gewordenen Behandlung unseres Gegenstandes [94] betont der bekannte Mathematiker v. Miller-Hauenfels (s. I. Band, S. 75) die Nothwendigkeit, neben den

niveau, die punktirten Linien die Isobaren der Cirrusregion, die mit Strichen und Punkten gezeichneten Linien die Isothermen, gewöhnliche kleine Pfeile entsprechen dem Zuge der unteren, punktirte Pfeile demjenigen der Cirruswolken, starke Pfeile geben die Richtung des

Fig. 54.



Unterwindes, die langen Pfeile geben die Bewegungsrichtung der Minima, die kleinen Kreise Kalmen an. Bemerkt sei noch, dass Köppen [97] die Höhe bestimmt, bis zu welcher in einer Depression mit warmem Centrum die Gradienten diesem letzteren zugewendet sind; seine Relation leitet er durch scharfsinnige Schlüsse aus der Laplace'schen Barometerformel her.

Die Ley'schen Thesen IV und VI können im Vereine mit Köppen's Zusätzen dazu dienen, die Bewegungsrichtungen der Minima über Europa festzustellen. Soferne diese Richtungen immer wieder mit einer gewissen Gleichförmigkeit und Regelmässigkeit innegehalten werden, spricht man von den Zugstrassen der Minima, und die neuere Meteorologie erachtet es, hauptsächlich um der praktischen Anwendung willen, für eine ihrer wichtigsten Aufgaben, diese Zugstrassen für die verschiedenen Erdräume auszumitteln. Zumal van Beb-

---

isobarischen und isothermischen Flächen auch die isosterischen oder Flächen gleicher Dichte der Diskussion zu unterstellen. Diese Ansicht scheint eine Unterstützung zu finden durch Brounow's neue Theorie der Cyklonalbewegung [95], mit welcher uns Graf Berg's Referat [96] bekannt gemacht hat. Brounow zeigt nämlich, dass die östliche Fortschreitungsrichtung der Cyklone dadurch bedingt ist, dass das Gebiet hoher Temperatur und grosser absoluter Feuchtigkeit meist südlich von dem Gebiete niedriger Temperatur und geringer Feuchtigkeit liegt. Ferner sollen sich die Cyklone stets in der Nähe der Grenzlinie des Gebietes übernormaler Temperatur bewegen; sobald sie in ein Gebiet gelangen, dessen Temperatur unter dem Normalmittel liegt, büssen sie nach Brounow an Intensität ein. Wenn die Cyklonenbahn in die Karte eingetragen ist, so empfiehlt es sich, daneben noch vier andere Linien zu verzeichnen: die Ortskurve der Punkte, an denen das Barometer in den letzten 24 Stunden um gleichviel gestiegen oder gesunken ist, den Ort der Punkte, welche eine relativ stärkste Zunahme des Luftdruckes erkennen lassen, und endlich den Ort der Punkte stärkster Abweichung von der Normaltemperatur. Diese vier Kurven hätten einen näherungsweise parallelen Verlauf.

ber hat sich dieser Aufgabe mit vielem Eifer hingegeben, und seine Ausführungen [98] sind es auch, an welche wir uns in der Hauptsache halten. Wie schon oben (§. 7) erwähnt, liefern die Vereinigten Staaten die einfachsten Verhältnisse, wo eine einzige Zugstrasse durch das Gebiet der grossen Seen und durch Canada zieht. An den Seen tritt gewöhnlich eine Gabelung der Bahnen ein, und noch weit mehr kompliciren sich die Dinge über dem atlantischen Ocean, wo (nach W. Köppen) einerseits der Einfluss der Meeresströmungen, andererseits der Mangel der Reibung sich geltend macht. Die Mehrzahl der Depressionen wendet sich von Nordamerika — auch bei Newfoundland bilden sich nach Köppen sehr gerne neue Minima — an Südgrönland und Irland vorbei nach Europa, entweder östlich gegen das südliche Norwegen hin abbiegend oder an den nördlichsten Küsten dieses Landes hinstreichend, während nur ein kleinerer Theil quer über den Ocean fortschreitet. Diesem letzteren begegnen in der Regel unsere über England nach Amerika segelnden Schiffe, und es erleiden aus diesem Grunde die westwärts fahrenden Dampfer weit häufigeren Wechsel der Witterung, als die ostwärts fahrenden. Für Europa lassen sich im Ganzen acht Haupt-Zugstrassen unterscheiden, von welchen vier jedoch nur als sekundäre Theilungen erscheinen. Zugstrasse I, ein im Frühling wenig frequentirter Weg, beginnt an der Nordwestecke Irlands, zieht sich längs der norwegischen Küste hin bis an den Polarkreis und theilt sich dort in drei verschiedene Aeste: Ia geht nordwärts zum Eismeere, Ib zum weissen Meere, Ic verläuft im Inneren von Russland. Zugstrasse II, III und IV erstrecken sich sämmtlich aus der Umgebung der britischen Inseln quer über das deutsche Meer weg, II bewegt sich nach Ost, III nach Südost, IV der Küste entlang in ostnordöstlicher Richtung, so dass II und IV sich in der Gegend der grossen schwedischen Seen durchkreuzen; im Frühjahr pflegt dieser Schnittpunkt östlich verschoben zu werden. Zugstrasse V führt vom Südwesten Grossbritannien's südöstlich über Frankreich nach dem Mittelmeerbecken hin, theilt sich jedoch im Allgemeinen in die oben genannten vier Zweige. Va ist die für Deutschland's Wetter maassgebende Strasse, Vb geht nordöstlich nach dem finnischen Meerbusen, Vc und Vd durchschneiden das mittelländische Meer. Wenn die Depressionen, was (s. o.) nicht selten geschieht, an einem bestimmten Orte länger zu verweilen sich anschicken, so liegt dieser Ort gewöhnlich in der Nähe des Durchschnittes zweier Zugstrassen. Derartige Punkte liegen z. B. über der Davisstrasse, südwestlich von Irland, über dem atlantischen Ocean bei'm Nordufer des Golfstromes, über dem Skager Rack und, wie schon bemerkt, über Südschweden. Die Vertheilung von Luftdruck und Temperatur in der Umgegend eines Knotenpunktes lässt annähernd im Voraus beurtheilen, welchen Weg die Depression von ihm aus einschlagen wird*). In Europa

*) Die Richtung der Zugstrasse Va erklärt (s. o. §. 6) die Genese der Dove'schen Winddrehungsregel, denn weil eben gewöhnlich die Minima nördlich von Deutschland vorüberziehen, springt der Wind so um, wie jene Regel es verlangt, und einzig deshalb giebt die Statistik zu Gunsten jener Regel die ganz leidlichen Resultate, welche Leipoldt anführt [99]. Hätte Dove nicht in Berlin, sondern in Grönland gelebt, er würde nicht der Versuchung erlegen sein, seine empirische Regel mit einem allgemeinen Naturgesetze zu verwechseln.

ist die Tendenz der Minima, länger stabil zu bleiben, eine weit ausgesprochenere, als in Amerika, und es wird hiedurch die für uns nicht eben ungewöhnliche Beständigkeit der Witterung bewirkt.

In Fig. 49, welche uns bereits mit den geographischen Verhältnissen der Passatwinde bekannt machte, sind auch — ebenfalls nach den Angaben des offiziellen österreichischen Handbuches der Hydrographie *) — die Zugstrassen abgebildet, welche von einem mehr oder minder grossen Bruchtheile der barometrischen Minima befolgt werden. Allerdings ist daselbst statt Zugstrassen das Wort Sturmbahnen gebraucht, allein dieser scheinbare Gegensatz darf uns nicht stören, da den Darlegungen des nächsten Paragraphen zufolge der Unterschied zwischen Winden und Stürmen jeder Art kein principieller, sondern ein blos gradueller ist. Wir glauben uns deshalb auch berechtigt, schon an dieser Stelle eines eigenthümlichen Verhaltens der Zugstrassen zu gedenken, welche man als deren Umbiegung bezeichnet, und von welcher uns das Diagramm das besonders charakteristische Beispiel an der Ostküste Nordamerika's, dann aber auch in der chinesischen See und im indischen Ocean entsprechende Fälle vor Augen stellt. Der wahre Grund dieser Umbiegungen ist eben so wenig genau bekannt, wie derjenige für das west-östliche Fortschreiten der Minima; betreffs der letzteren zog allerdings Mühry [100] aus dem Studium der ziemlich geradlinigen Bahnen dreier Wirbelstürme den Schluss, dass dieselben ziemlich genau jenem Punkte Nordasiens zustrebten, in welchem die Winterkälte ein Maximum erreicht. Nach Maydell [101] bildet für den nächstfolgenden Tag die Windbahn einen bestimmten Winkel mit der den Ort der Depression und den Ort der grössten Erwärmung am fraglichen Tage verbindenden Geraden, doch ist diese Aussage nicht auf theoretische Erwägungen, sondern auf die Betrachtung synoptischer Karten gegründet. Hydrodynamische Untersuchungen über die Trichter, welche sich bei Begegnung zweier seitlicher Strömungen im Wasser bilden, haben Wittwer auf eine selbstständige Theorie der Umbiegung gebracht [102]. Er vergleicht den Sturm mit dem Wasserwirbel, indem er als Komponenten den Polar- und den Aequatorialstrom angesehen wissen will. In der Nähe der Kalmenzone stehen deren Richtungen nahezu normal auf einander, und ihre Resultirende ist nach Nordwest gerichtet, je weiter man aber gegen Norden vorschreitet, um so mehr dreht sich nach dieser Richtung hin auch die Resultirende, um schliesslich gegen Ost abgelenkt zu werden. Diese Art der Drehung soll darauf hinweisen, dass der Antipassat der aktive Theil ist und in den Passat einbricht, indem sonst der Drehsinn der entgegengesetzte sein müsste. — Es steht zu hoffen, dass die durch Brounow in diesen Theil der meteorologischen Dynamik hineingetragenen neuen Gedanken auch auf diese schwierige Frage befruchtend wirken werden.

Ehe wir die Minima und ihre Bewegung verlassen, haben wir noch daran zu erinnern, dass auch partiale oder sekundäre Minima nicht selten neben den Hauptdepressionen auftreten und der Witterungs-

---

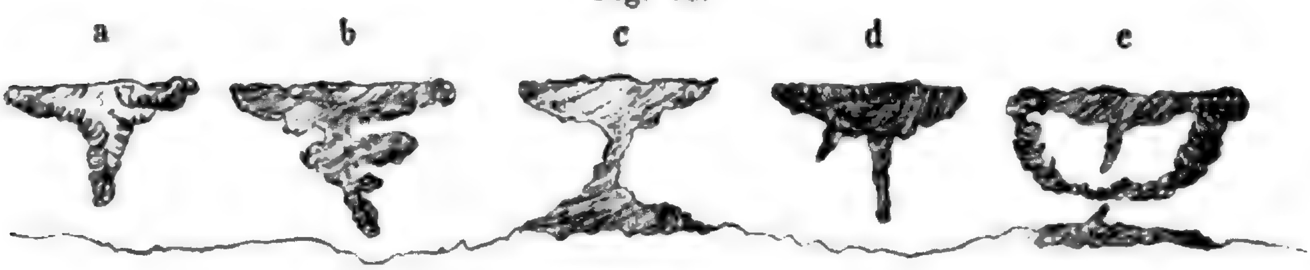
*) Für den amerikanischen Kontinent dienten als Vorlage die von Jakson im Jahresberichte des „Signal Office“ von Washington veröffentlichten Karten der Depressionszüge.

prognose Schwierigkeiten bereiten. Dieselben bilden sich auf dem Gebiete grösserer Depressionen namentlich da, wo Westwinde wehen, und sind, weil eben lokalen Ursprunges, nicht wohl auf den Isobarenkarten zu verzeichnen, deren man sich bei der Vorausbestimmung des Wetters bedient *).

§. 11. **Stürme.** Mit diesem Gesammtnamen bezeichnet man eine ganze Reihe von meteorologischen Processen, die denn auch wirklich, trotz mancher Verschiedenheiten in der äusseren Erscheinung, viel des Gemeinsamen besitzen. Attlmayr, der im österreichischen Handbuche, auf das wir uns schon mehrmals zu beziehen hatten, den von der maritimen Meteorologie handelnden Abschnitt bearbeitete, schreibt darüber in einem Sinne, mit dem wir uns nur einverstanden erklären können, wie folgt [105]: „Im Nachfolgenden sollen jene meteorologischen Processe zur Darstellung gelangen, welche mit dem Namen Wettersäulen, bogenförmige Böen, See-Tornados, Cyklonen bezeichnet werden. In manchen äusseren Erscheinungen zeigt sich zwischen denselben eine engere Verwandtschaft. Nach der Ansicht gewiegter Männer finden sie in gleichen Ursachen ihren Ursprung. Es mag daher als gerechtfertigt gelten, diese Phänomene in einem gemeinsamen Abschnitte zu behandeln.“ Ebenso wollen auch wir es halten.

a) **Wettersäulen.** Wie viel oder, besser gesagt, wie wenig man noch vor nicht sehr langer Zeit von dieser doch eben nicht seltenen Erscheinung wusste, zeigt recht deutlich Muncke's ungemein ausführlicher Lexikon-Artikel [106], der wesentlich einen beschreibenden Charakter trägt und deshalb auch für heute noch unbestreitbar Werth besitzt. Die Wettersäulen, die je nach Umständen auch als Wasser- und Windhosen (Tromben, lat. „Nubis pendula“, „columna“, „tuba“, franz. „trombe“, engl. „Water-Spout“) auftreten, sind schlauchartig nach unten gekrümmte Wolken, in denen eine wirbelförmige Bewegung

Fig. 55.



herrscht, und denen sich, wenn die Wolke über leicht bewegliche Massen, wie Wasser und Sand hinstreicht, ähnlich geformte, schlauchartige Zungen aus diesen Massen entgegenstrecken. Unsere Fig. 55

*) Neue Perspektiven eröffnet der meteorologischen Praxis ein Unternehmen Hildebrandson's, über dessen Zweck und einstweilige Fortschritte wir uns aus dem sehr eingehenden Berichte van Bebber's [103] unterrichten können. Es werden nämlich im Detail die Veränderungen studirt, welche auf den einzelnen Seiten einer barometrischen Elevation oder Depression die einzelnen meteorologischen Elemente erfahren. Um nur Eines Punktes zu erwähnen [104]: Die Nimbuswolken sind häufiger auf der Rückseite, als auf der Vorderseite der fortschreitenden Minima.

verdeutlicht fünf prägnante Formen dieser Wettersäulen, wie sie sich nach Finley's Aufsatze „The tornadoes of may 29 and 30, in the States of Kansas, Missouri, Nebrasca and Jowa" [107] bei einem furchtbaren amerikanischen Wirbelsturme gezeigt haben; Fig. 55c erinnert ganz an das Modell eines einmanteligen Hyperboloides, bei Fig. 55d streckten sich aus den Wolken zwei Spitzen herab, in deren jeder eine schraubenförmige Luftbewegung von entgegengesetztem Drehsinne wahrzunehmen war [108]. Die Landhosen sind gefährlicher durch ihre mechanische Wirkung, als die Wasserhosen, wie denn bei dem einzigen von Chladni ganz sichergestellten Falle, in welchem eine solche Wasserhose über ein Schiff weggieng, der Schaden kein allzugrosser war [109]. Schiffer haben die Gefahr nicht selten durch einen gegen die Trombe gerichteten und sie zerreissenden Kanonenschuss abgewendet. Dass die aspirirende Wirkung der Tromben mit grossem mechanischem Effekte Hand in Hand gehen muss, erhellt leicht aus den von Reye gesammelten Nachrichten über die Fortschreitungsgeschwindigkeit dieser Luftwirbel [110]. „Nach Martins verursachte am 19. August 1847 eine Windhose bei Rouen ein Sinken des Barometers um 6,34 mm. Der Druckdifferenz von 6,34 mm entspricht aber eine Windgeschwindigkeit von 36,17 m per Sekunde nach der Verdünnungsstelle hin. Dass bei solcher Windgeschwindigkeit, die sonst nur bei Orkanen vorkommt, 180 grosse Bäume umgerissen wurden, ist sehr begreiflich. Nach Oersted fiel durch die Wettersäule von Eu am 16. Juni 1775 das Barometer um $2\frac{1}{2}$ Linien, woraus sich die Geschwindigkeit der heranströmenden Luft zu 34,32 m ergeben würde." — Die hier geschilderten Umstände waren es, welche Reye die Mittel zur Aufstellung jener Theorie der Wirbelsäulen verschafften, die er zuerst in der erwähnten Abhandlung und dann allseitiger begründet in seinem Hauptwerke auseinandersetzte, und zu welcher sich jetzt wohl die grosse Mehrzahl der Fachleute bekennt*). Sämmtlichen Stürmen ist gemeinsam die Bildung eines ungewöhnlich stark ausgeprägten barometrischen Minimums und ein jähes Herabgehen des Barometers*). Daraus schloss Reye, dass die heftige Luftverdünnung die primäre Voraussetzung des aufsteigenden Luftstromes haben müsse**), und damit war ein Fingerzeig gegeben, der zu besseren Ergebnissen führte, als alle früheren Bemühungen, an denen es nicht gemangelt hat — zählt doch Peltier nicht weniger als 30 von verschiedenen Autoritäten gegebene Erklärungsweisen auf, deren 19 blos die Luftbewegung, 8 die Elektricität,

*) Auf den von Faye [111] gegen Reye erhobenen Widerspruch — die Luftbewegung innerhalb der Trombe soll nicht von unten nach oben, sondern von oben nach unten vor sich gehen — soll hier nicht weiter eingegangen werden, weil schon im I. Bande (S. 59) bei Besprechung der solaren Stürme das Erforderliche darüber beigebracht worden ist.

**) Die Bemerkung, dass einem Gewittersturme das Steigen der Quecksilbersäule voraufgehe, scheint, wie Hellmann zeigte [112], von Planer und G. E. Rosenthal zuerst gemacht worden zu sein. Letzterer sagt in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in einem an Lichtenberg gerichteten Briefe: „Wenn sich ein Donnerwetter dem Orte, wo sich ein Barometer befindet, nähert, so wird der Meniskus in der Röhre zu steigen anfangen." Rosenthal hat aber auch ganz richtig erkannt, dass dieses Steigen nur ein momentanes ist und bald durch ein umso energischeres Fallen abgelöst wird. Die Thatsache wurde nachmals von Strehlke bestätigt [113].

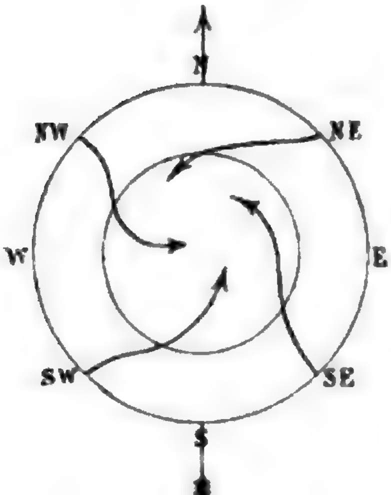
2 unterirdisches Aufbrausen zu Hülfe nahmen, während nach einer die Erscheinung nur ein recht heftiger Platzregen sein sollte [114]. Reye erinnert an die künstlich erzeugten Waldbrände, welche man in den Südstaaten der Union nach Redfield manchmal nur um deswillen hervorruft, damit ein aufsteigender Luftstrom sich bilde und Regenwolken erzeuge. Hier liegt die Analogie am Tage, welche zwischen diesen künstlichen Winden und den Wirbelwinden über den Kratern der feuerspeienden Berge obwaltet (s. I. Band, S. 348). Makay beobachtete häufig Gewitter als die Konsequenz von Schilfbränden; die wirbelnden Rauchsäulen stellen sich den Windhosen ganz ebenbürtig zur Seite. A. v. Humboldt in den Llanos, Bruce in Afrika, Clarke in den russischen Steppen waren gleichfalls Zeugen solcher Naturerscheinungen, und nach Belt's Aussage hatten die dortigen Sandtromben eine entschieden spiralige Bewegung [115]. Sehr für Reye's Auffassung spricht die Windhose, welche, einem gothischen Thurme ähnlich, vom Rath bei Königswinter im Rheine sah und genau beschrieb [116]. Die elektrischen Erscheinungen sind wohl, ähnlich wie bei den Gewittern, mehr nur eine Zugabe.

b) **Bogenförmige Böen und See-Tornado's.** Attlmayr reproducirt, um die Seefahrer mit den äusseren Anzeichen dieser Gattung von stürmischen Luftbewegungen vertraut zu machen, die bezüglichen Beschreibungen von Kerhallet und Schück [117]. Böen sind Stürme, welche aus schwarzen, am untern Ende kreisförmig begrenzten Wolken (daher der Beiname) losbrechen und gewöhnlich von starken elektrischen Entladungen begleitet sind. Die tropischen Gewässer Ostasiens bilden den Tummelplatz dieser Stürme, die in minder prononcirter Form übrigens auch in den anderen Meeren, vorzugsweise freilich in den tropischen, dem Schiffer zu schaffen machen. Die am meisten zu fürchtenden Böen sind die hauptsächlich der Antillen-See eigenthümlichen See-Tornados [118] (portug. „travados"), welche recht wohl auch als eigentliche Wirbelstürme von vergleichsweise geringer Fortpflanzungsgeschwindigkeit gelten können; andererseits könnte man auch sagen, es seien Wettersäulen von sehr grossem Durchmesser. Wie es kommt, dass mit dem Erscheinen einer Sturmwolke auch der Wind heftiger entfacht wird, ist zur Zeit noch Gegenstand von Untersuchungen, an welchen sich Köppen und Möller [119] betheiligen. Auch die Gewitterstürme des Binnenlandes tragen einen böen-artigen Charakter. van Bebber hat neuerlich angefangen, von besonders ausgezeichneten Stürmen dieser Art in den „Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteor." Individualbeschreibungen zu liefern, und Köppen hat, um solche Beschreibungen mit möglichster Treue geben zu können, einen vielversprechenden Weg eingeschlagen [120], er giebt nämlich Fragebogen an die Eisenbahnbediensteten hinaus; wenn sich die einen Bahnzug begleitenden Beamten genau die Orte gemerkt haben, an denen sich der Zug in dem Augenblicke des Eintretens irgend eines bemerkenswerthen Ereignisses befand, so können sie jene Bogen mit Zeitbestimmungen ausfüllen, wie sie gleich genau auf andere Weise nicht wohl zu erhalten sind*).

*) Vorzügliches Material gewährt auch Mohn's Sturm-Atlas [121], eine im Vereine mit De Seue von dem ausgezeichneten norwegischen Forscher unter-

c) **Die Drehstürme der Tropenzone.** Die Zeit liegt nicht lange hinter uns, da man die Böen und gewöhnlichen Gewitterstürme als etwas Grundverschiedenes betrachtete von den Cyklonen (Wirbelstürmen, Drehstürmen, Drehorkanen)*), durch welche die tropischen Meere berüchtigt sind; schon der Umstand aber, dass man die für unsere Gegenden typische Windströmung eine Cyklonalbewegung nennt (s. o. §. 7) belehrt uns über die Hinfälligkeit dieses Gegensatzes. Die historische Entwickelung unseres bezüglichen Wissens wird von Attlmayr [123] in der Weise gekennzeichnet, dass Dampier die Taifune zuerst als Wirbelstürme erkannte, dass Capper die nämliche Erkenntniss bezüglich der im indischen Ocean herrschenden Orkane gewann, dass Dove auch an europäischen Stürmen eine analoge Eigenschaft nachwies, und dass endlich durch die vereinten Bemühungen von Reid, Redfield, Piddington, Meldrum und Reye der heutige, nicht zu verachtende Wissensstand erreicht ward. Wir sind jetzt nicht mehr darüber im Zweifel, dass aufsteigende Luftströme in Verbindung mit dem Stosse seitlich einströmender Luftmassen, mit der Erdumdrehung und mit der Reibung die zureichenden Erklärungsgründe auch für diese Erscheinung liefern, mag auch im Einzelfalle die Erklärung noch mit vielen Schwierigkeiten verknüpft sein. Sichergestellt ist, dass die Wirbelbewegung in der Cyklone dem Sinne nach der Dove'schen Regel zuwiderläuft; auf der Nordhalbkugel ist der Drehsinn demjenigen des Uhrzeigers entgegengesetzt, auf der Südhalbkugel stimmt sie mit ihm überein. Aus dem Schiffsjournale der Brigg „Charles Heddle“ gieng hervor, dass dieselbe am 22. Februar 1845 fünfmal nach einander die Mitte einer Cyklone umkreiste und dabei mehr und mehr dieser — durch relative Ruhe der Luft charakterisirten — Mitte sich näherte. Die früher viel zu schematisch gefassten Vorstellungen über die Windbewegung im Inneren eines Drehsturmes sind durch Knipping [124] und Schück [125] weit mehr spezialisirt worden; dem Erstgenannten zufolge wird diese Bewegung, wenigstens im Bereich der an Japan angrenzenden Meere, durch Fig. 56 dargestellt, in welcher das Kreiscentrum den Mittelpunkt der Cyklone, der Pfeil dessen Fortschreitungsrichtung angiebt. Für die Nautik erwächst die Doppelpflicht, Vorschriften anzugeben, mittelst deren der Seefahrer in den Stand gesetzt wird, einmal durch scharfe Beobachtung des Himmels

Fig. 56.



nommene Analyse von vier über Norwegen hingegangenen Stürmen, mit Hinweisen auf die Bedeutung des Golfstromes für Entstehung und Verlauf der Stürme.

*) Je nach den verschiedenen Gegenden, in welchen sie auftreten, werden diese Stürme auch mit verschiedenen Namen belegt. In Westindien und in den südlichen Staaten der Union heisst ein verheerender Sturm Hurricane, ja man überträgt diese Bezeichnung auch auf solche Waldterritorien, in welchen die Cyklone umfängliche Verwüstungen und Windbrüche zuwege gebracht hat. In der chinesischen See ist das Wort Taifun gebräuchlich, welches nach Hirth eigentlich t'ai-fung zu schreiben wäre und im Chinesischen „Wind von Formosa“ bedeutet, weil die nähere Umgebung dieser in jüngster Zeit so viel genannten Insel nur zu häufig von solch' verheerenden Luftwirbeln heimgesucht wird [122].

und des Schiffsbarometers das Herannahen einer Cyklone zu erkennen und derselben wo möglich auszuweichen, dann aber auch, wenn einmal das Fahrzeug in den Strudel hineingerissen ist, durch geschicktes Laviren demselben wieder zu entrinnen oder doch aus dem „gefährlichen" Halbcylinder des wirbelnden elliptischen Luftcylinders in den „minder gefährlichen" sich hinüber zu retten. Derartige Anweisungen versuchte bereits Dove auszuarbeiten, doch konnten dieselben damals ihren Zweck noch nicht erreichen, während man gegenwärtig in den Werken von Attlmayr [126] und Gelcich [127] brauchbare und dem Einzelfalle angepasste Regeln dieser Art findet. Gelcich giebt auch an anderem Orte [128] Aufschluss über die maschinellen Vorrichtungen, welche dem Kapitän seine Manoeuvres erleichtern sollen. Maury dachte zuerst an ein solches Instrument, hierauf erfand Piddington seine „Hornkarte", Roux, Burian und Bouqet de la Grye gaben sogenannte Dromoskope an. Praktisch brauchbarer ist Viscovich's Cyklonograph, bei welchem die koncentrischen Kreise der Piddington'schen Karte durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt werden *). — Die oft staunenswerthe, ja Entsetzen erregende lebendige Kraft, welche viele Drehstürme entwickeln, charakterisiren Attlmayr [132] und van Bebber in seinem überhaupt zu empfehlenden Essay über Cyklone [133] an treffenden Beispielen; erwähnt sei nur, dass der grosse Orkan vom Oktober 1780 Tausende von Bewohnern der kleinen Antillen tödtete, ihre Wohnungen in Trümmerhaufen verwandelte und von den Wällen (auf Barbadoes) die Kanonen hinaus in's Meer schleuderte. Dass unter Umständen auch unsere europäischen Stürme einer recht respektablen Kraftäusserung fähig sind, beweist Coaz's Schrift: Die Stürme vom 20. Februar, 25. Juni und 5. Dezember 1879 und der durch dieselben in den Waldungen der Schweiz verursachte Schaden (Bern 1880). Hiernach belief sich in einem Falle der Windbruch auf 700000 Festmeter,

*) Anhangsweise bemerken wir, dass eine neue Theorie der Cyklonen, welche die bestehenden Anschauungen umzuwälzen droht, von Andries [129] aufgestellt wurde; dieselbe ist scharfsinnig ausgedacht, jedoch bei weitem noch nicht fest genug begründet. Die Cyklonen entstehen durch einen kräftigen Luftstrom in höheren Luftregionen, welche sich in eine verhältnissmässig ruhige Luftmasse hinein Bahn macht; dass solche Luftströme vorhanden sind, folgt allerdings aus den uns bereits bekannten Arbeiten von Koppen, Ley und Hildebrandson. An seinem vorderen Ende, wie auch an seinen beiden Seiten erzeuge ein solcher Strom wirbelnde Bewegungen. Andries hat zur Veranschaulichung seiner Theorie ein Experiment erdacht: Ein vertikal gehaltenes Brettchen wird in ein Wassergefäss eingetaucht, durch's Wasser hindurchgezogen, und die hiebei entstehenden Wirbel geben mancherlei zu denken. Auf alle Fälle hat Andries den Werth des meteorologischen Experimentes wieder zu Ehren gebracht, welchem voraussichtlich noch eine Zukunft bevorsteht. Dass sich durch Versuche im engen Raume des Laboratoriums sehr werthvolle Anhaltspunkte für das Verständniss der grossen tellurischen Luftbewegungen gewinnen lassen, hatte Vettin schon vor langer Zeit durch seine hübschen Versuche mit Tabakrauch dargethan — Tait's berühmte Hervorbringung der schwer zerstörbaren Rauchwirbel gehört in dieselbe Kategorie —, allein Dove hatte die in sein System nicht passenden Ideen Vettin's verworfen [130], und Letzteren dadurch bewogen, seine Arbeiten ein Vierteljahrhundert lang ganz im Stillen zu betreiben, bis dann ganz neuerdings einige reife Früchte derselben dem Publikum übergeben werden konnten. Zumal das Wandern der Kalmen, resp. der zwischen zwei geschlossenen Cirkulationssystemen aufsteigenden Luftströme (s. o. §. 8) wird im Kleinen treu nachgebildet [131].

deren Werth 10 000 000 Franken ausmachte. Damals brach sich in der Bodenseegegend die Gewalt der Cyklone, denn aus schwäbischen und bayrischen Waldungen wurde nur ein geringer Schaden gemeldet; dafür legte der von Frankreich her am 26. Oktober 1870 über ganz Deutschland hinbrausende Orkan allein in Bayern 16 501 664 Festmeter nieder. Wie uns bekannt, hat Suess (I. Band, S. 379) die Ansicht aufgestellt, dass bei der grossen mesopotamischen Sintfluth ein Wirbelsturm mit die Hauptrolle gespielt habe.

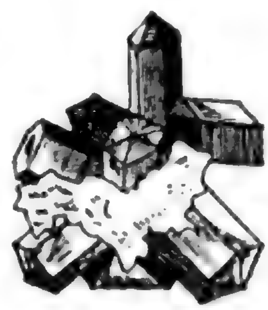
§. 12. **Theorie des Hagels.** Was wir als dynamische Meteorologie bezeichnen, liesse sich, wie wir nun am Schlusse des bezüglichen Kapitels konstatiren können, recht wohl als die Lehre von den mehr oder minder regelmässigen Störungen des Luftdruckes bezeichnen*). Ganz anhangsweise haben wir aber doch in dieses Kapitel auch noch einen Gegenstand hereinzuziehen, der offenbar in keinem gleich gut untergebracht werden könnte: wir meinen die Theorie der Hagelerscheinungen. Dieselbe in ihrem geschichtlichen Werden darzustellen, ist heute verhältnissmässig leicht, da dem Autor die fleissigen Monographieen von Baurmeister [137] und Wähner [138] zu Gebote stehen. Die letztere, eine von der holländischen Gesellschaft mit dem Preise gekrönte Schrift, wird von uns im Folgenden zu Rathe gezogen werden.

Vom „Eisregen“ war bereits im ersten Kapitel dieser Abtheilung die Rede. Von ihm wohl zu unterscheiden ist einerseits der Graupelfall (grésil, sleet), andererseits der eigentliche Hagel (grêle, hail) obwohl es allerdings auch an Uebergangsformen zwischen Graupeln und Hagel nicht fehlt. Von der Form der herabstürzenden Eiskörner abgesehen, ist für das Graupelwetter im Allgemeinen die weit geringere Intensität der elektrischen Begleitprocesse bezeichnend [139]. Als Vorzeichen eines Hagelschlages gelten nach Wähner (a. a. O.) dieselben, welche auch ein Gewitter verkündigen, als da sind Hitze und Dürre am Tage, starker Thaufall bei Nacht; Cirri, welche zuerst zu Cirrostratus-, dann zu Nimbuswolken von auffallend grauer Färbung verdichtet werden, pflegen selten zu fehlen. Haken- und zungenförmige Fortsätze an den Gewitterwolken erinnern geradezu an wirkliche Tromben. Wenn diese sich zeigen, so scheint die ganze Wolke in eine Art von Gährung zu gerathen, ein starker Blitz zuckt unter heftigem Donnergerolle auf, ungewöhnlich grosse Regentropfen fallen, und dann beginnt in intermittirenden Schauern der Hagel sein Zerstörungswerk. Das begleitende Geräusch scheint durch das Aneinanderprallen und Splittern der Körner hervorgebracht zu werden. Was diese Hagelkörner selbst anlangt, so treten sie in allen möglichen Formen auf. Nach Delcros wäre ihre gewöhnliche Form die eines Kugelsektors mit einem gleichseitigen sphärischen Dreieck als Basis: darin

*) Hierher gehören, um von Vielem nur Einzelnes zu nennen, Nasse's Untersuchungen [134] über den Zusammenhang zwischen Barometerschwankungen und schlagenden Wettern in Gruben, welche durch Mallard-Chatelier's Beobachtungen über die aktive Rolle des Kohlenstaubes ergänzt wurden [135]. Auch das Hervorsprudeln der Mineralquellen ist in seiner Intensität vom Luftdrucke abhängig, wie nach Pilar [136] zumal Cartellieri am Karlsbader Sprudel konstatirt haben soll.

hätte man die Rudera der in der Luft geplatzten Kugeln zu erblicken. Die Kugelgestalt ist aber anscheinend doch die vorwiegende*); nach Abich, der sich mit ungemeinem Eifer dem Studium der im Kaukasus so häufig vorkommenden Hagelfälle widmete und eine werthvolle Schrift darüber publicirte [140], sind in den Hagelkörnern oft komplicirte Krystallbildungen zu unterscheiden, wie diess Fig. 57 zeigt. Die sechsseitige, prismatische Säule des Eises tritt dabei immer wieder hervor; auch Hagenbach-Bischoff und Merian haben sechsseitige Hagelkrystalle mit rhomboedrischer Abstumpfung beschrieben, deren Krystallnatur sich durch die mit ihnen angestellten Polarisationsversuche als über allen Zweifel erhaben herausstellte. Schwedoff glaubt auf Grund vieler Messungen zur Aufstellung nachstehender beider Sätze berechtigt zu sein [141]: I. Die Oberfläche eines sphäroidalen Hagelkornes ist Niveaufläche einer flüssigen und um ihre Axe rotirenden Masse; II. die Flächen der das Hagelkorn in Abtheilungen zerlegenden Schichten sind Orthogonalflächen der Schaar von Niveauflächen. In Konsequenz des Satzes I wären dann folgende Körper möglich: Kugel, abgeplattetes Sphäroid, Sphäroidalsäule mit excessiver Abplattung und körperliche Ringe. Hagelkörner der letztbezeichneten Art soll Laiunowitsch auch wirklich gefunden haben. Wir werden sehen, wie Schwedoff mit dieser seiner Auffassung Abich's krystallinische Exemplare zu vereinbaren versteht. — Die Grösse der Hagelkörner ist sehr verschieden; 1739 will man in Würzburg Hagelsteine von 1,5 kg, 1717 in Namur sogar solche von 4 kg Gewicht aufgehoben haben, und aus Indien, dem Lande der Uebertreibungen, stammt die Nachricht von einem zu Mysore gefallenen Eisblocke, der die Grösse eines Elephanten gehabt habe. Andere berichten glaubwürdiger von einer Schlosse, die am 15. August 1882 in Kansas gefallen sei, 80 Pfund gewogen und sich in einer Umhüllung von Sägespänen unglaublich lange Zeit unversehrt erhalten habe. Am 21. August 1881 gieng im Kanton Waadt ein Hagelschlag nieder, der in Zeit weniger Minuten etwa 100 000 kg brachte; wohl am meisten Eis aber wurde durch den zur Zeit bekannten grössten Hagelschlag geliefert, welcher am 13. Juli 1788 Frankreich und die Niederlande verheerte. Die Gesammtmasse aerischen Eises betrug damals, nach Dufour's Berechnung, 400 000 000 Kilogramm, also mehr, als einige der grössten Alpengletscher zusammengenommen herzugeben im Stande wären.

Fig. 57.



Der Hagel ist, wie Wähner mit Recht bemerkt [142], ein durchaus lokales Phänomen. Gewöhnlich tritt derselbe strichweise auf, wie z. B. der vorerwähnte furchtbare Hagelschlag von 1788 durch ein schmales Band, in welchem blos Regen fiel, in zwei Parallelstreifen zerfiel. Nächtlicher Hagel ist seltener, eine tägliche Periode dagegen

*) Verf. dieses hatte im vorigen Sommer Gelegenheit, eine sehr grosse Menge von Schlossen genauer Prüfung unterziehen zu können. Uebereinstimmend waren dieselben Rotationsellipsoide von nicht sehr grosser Excentricität, und zwar waren fast in jedem dieser Körper noch 1—2 koncentrische, ähnliche und ähnlichliegende Ellipsoide eingebettet, die sich von einander sehr gut durch die verschiedene Nuance ihrer grauen Färbung abgrenzten. Mit Schwedoff's Theorie lässt sich diese Wahrnehmung ganz wohl in Einklang bringen.

ziemlich deutlich ausgeprägt. Mit steigender Meereshöhe nimmt seine Häufigkeit ab. Manche Gegenden zeichnen sich, was den Hagel-Statistikern*) und den auf deren Hülfe angewiesenen Versicherungsgesellschaften wohl bekannt ist, durch eine gewisse Immunität, andere wieder durch eine gewisse Prädisposition aus, wie denn z. B. in einem Theile des Tessin bei'm Abschluss von Güterverkäufen der zehnte Theil des Landes als jährlicher Verhagelung ausgesetzt angenommen wird. Höhere Breiten sind dem Zustandekommen der Hagelwetter nicht günstig, allein kein irgend ausgedehnterer Bezirk auf der Erde kann als ganz hagelfrei gelten. Diese Erkenntniss verdankt man den instruktiven Arbeiten von Fritz [143] und v. Danckelman [144]. Der Hagel kommt unter den Tropen weit weniger selten vor, als A. v. Humboldt annahm [145], und auch noch häufiger, als van Bebber geglaubt hatte [146]. Der indische Ocean sieht, ebenso wie der atlantische, viele Hagelgewitter mit deutlich sich manifestirender Jahresperiode [147].

Angesichts des hier berührten Umstandes, dass längliche Striche vom Hagel durchgängig verschont zu werden pflegen, erhebt sich die Frage, ob durch künstliche Mittel einer Gegend bis zu einem gewissen Grade Schutz gegen den Hagel zu verleihen sei. In der Schweiz glaubte man durch geeignete Anpflanzungen dieses Ziel erreicht, doch ist fast zu vermuthen, dass dieser Glaube nur ein illusorischer ist. Aus einer Bearbeitung der gleichfalls recht zuverlässigen und bereits 54 Jahre umfassenden württembergischen Hagelstatistik schliesst nämlich Bühler [148], dass eine Anzahl von Normen, die über den Zug der Hagelwetter und über den Einfluss von Thälern, Gewässern, Waldungen u. s. w. aufgestellt sind, in Württemberg keine Bestätigung finden. Allgemeingültige Erfahrungen giebt es demgemäss nicht. — In engster Beziehung steht zur Frage des Hagelschutzes diejenige der Hagelableitung. Man huldigte lange der Ansicht, dass lange Stangen, in geeigneten Distanzen aufgepflanzt, als Hagelableiter wirkten; Lapostolle trat ebenso entschieden für den Nutzen derselben ein [149], wie Arago denselben leugnete [150]. Allzuschnell über eine Sache abzusprechen, ist in den Erfahrungswissenschaften niemals gerathen. Dufour wenigstens, ein gewiss exakter Forscher, spricht im 18. Bande (S. 69 ff.) des Bulletins der waadtländischen naturforschenden Gesellschaft sein Bedauern darüber aus, dass man die Hagelableiter im Gelände des Genfer-See's nach den ersten scheinbaren Misserfolgen gleich wieder abgeschafft habe. Die Spitzenwirkung der Bäume offenbare sich doch durch den von Wäldern in vielen Fällen wirklich gewährten Schutz, und die günstig lautenden Meldungen aus französischen und italienischen Gemeinden seien nicht todtzuschweigen. Wie dem auch sei, soviel scheint doch festzustehen, dass die Hagelableiter nicht mit jener Gattung von Sonderbarkeiten zusammenge-

*) Derartige Statistiken aufzustellen, wird in allen Kulturländern mehr und mehr als eine Nothwendigkeit angesehen. Vorangegangen ist in dieser Hinsicht das statistische Bureau des Königreiches Bayern, dessen früherer Vorstand Mayr in seiner dem 4., 7. und 9. Bande der von jenem Bureau herausgegebenen Zeitschrift einverleibten Uebersicht über die Ernteverhältnisse von fünf Jahren durch seine Hülfsarbeiter Schanz und Reichel die Hagelschäden für den genannten Zeitraum systematisch aufzeichnen liess.

worfen werden dürfen, zu welchen die Erdbebenableiter (I. Band, S. 384) gehören*). —

Ausgerüstet mit den vorstehend geschilderten Thatsachen, treten wir nunmehr an die Aufgabe heran, die theoretischen Ansichten zu erörtern, welche über den Ursprung der Hagelerscheinungen an die Oeffentlichkeit getreten sind. Die Anzahl derselben ist Legion, und keine ganz leichte Sache ist es, verwandte Hypothesen in Gruppen zusammenzustellen. Immerhin soll dieser Versuch gewagt werden.

a) **Die elektrischen Theorieen.** Seit Franklin fehlt es nicht an Versuchen, die Tag für Tag sich mehrenden Kenntnisse im Gebiete der Elektricitätslehre auch für die Erklärung des Hagels nutzbar zu machen [154]. Nach Musschenbroek erheben sich im Sommer die Wolken so hoch in die kalte Region, dass ihr Niederschlag zu Eis erstarrt, während zwei entgegengesetzt elektrisch geladene Wolken diese ihre Elektricität mit Donner und Blitz zum Ausgleich bringen. Da die Elektricität hiebei nur als ein Accidens erscheint, so suchte Mongez ihr dadurch noch eine wichtigere Rolle zuzuweisen, dass er sie die Verdunstung einleiten und betreiben liess. In Deluc's Augen war die Elektricität nur eine andere Aeusserungsform der Wärme, und es gieng deshalb, seiner Meinung zufolge, mit jedem Blitzschlage soviel Wärmestoff verloren, dass eine Eisbildung eintreten musste. Lampadius und Lichtenberg [155] liessen sich für die mit der Lehre von den Imponderabilien recht verträgliche Ansicht Deluc's gewinnen. Volta endlich stellte den Process der Hagelbildung vollkommen in Parallele mit dem bekannten Vorlesungsversuche des elektrischen Puppentanzes [156]; die Arbeit, worin er dieses Resultat verkündete, gefiel der Mitwelt so gut, dass sie, nach dem Zeugnisse seines Biographen Riccardi [157], mehrfach wieder abgedruckt und in's Italienische und Französische übertragen ward, während der Text ursprünglich lateinisch geschrieben war. Prechtl und Bellani polemisirten aber gegen Volta, da doch unmöglich die schwache Elektricität der Wolken über die Schwerkraft den Sieg davon tragen könne [158].

b) **Die auf der Verdunstungskälte beruhenden Theorieen.** Der Artikel „Grêle" der „Encyclopédie méthodique" sieht in der Hagelbildung einen analogen Vorgang wie das Gefrieren des Wassers unter der Luftpumpe. Auch bei v. Buch [159] kommt es wesentlich auf die durch Verdunstung erzeugte Kälte an, welcher man im aufsteigenden Luftstrome immer begegnet. In gleichem Sinne äusserten sich

*) Die Idee, durch gewaltsame Aktion ein sich vorbereitendes Naturereigniss in seinem Laufe aufzuhalten, ist recht eigentlich eine Tochter des vorigen Jahrhunderts, gegen dessen Ausgang hin u. a. auch die nahe verwandte Frage, ob Gewitterwolken durch Läuten von Glocken oder durch Abfeuern von Geschützsalven zertheilt und unschädlich gemacht werden könnten, einen Ehrenplatz auf der wissenschaftlichen Tagesordnung behauptete. Hierher gehört z. B. die Preisschrift des Abtes Arbuthnot [151], eine Schrift v. Weber's [152] und anderes mehr. Die kurbayrische Akademie darf, wenn es ein solches ist, das Hauptverdienst an der Diskussion dieser Gegenstände für sich beanspruchen; ihrem Bannkreise gehört auch der zu Regensburg (ohne Jahreszahl) erschienene Traktat eines gewissen Kornmann an, deren Titel „Ist der Gedanke einer Hagelableitung vernünftig, möglich, ausführbar?", wir Mangels persönlicher Kenntnissnahme einer Programmabhandlung von Romstöck [153] entlehnen.

Schübler und Ideler. Weiter ausgebildet ward diese Lehre von Muncke im Lexikon-Artikel „Hagel“.

c) **Die auf Ueberkältung beruhenden Theorieen.** Nach Muncke ist im Frühling, welche Jahreszeit den Hagelwettern besonders günstig zu sein scheint, der erkältete Boden bei Tage einer intensiven Sonnenstrahlung ausgesetzt. Die unteren Luftschichten sättigen sich durch Verdunstung stark mit Wasserdampf, während die oberen Schichten trocken bleiben; durch Emporsteigen ersterer vermischen sich beide Schichten mit einander und wenn nun ein heftiger Windstoss die Vermischung beschleunigt, so gerinnt der überkältete Wasserdampf theils zu Wassertropfen, theils aber auch gleich zu Eiskörperchen. Offenbar aber, diess ist Wähner's Einwurf [160], ist dabei die mit dem Niederschlage des Wasserdampfes frei werdende „Verdampfungswärme“ übersehen worden, welche eine so rasche Eisbildung verhindern muss. Nur verfeinert, von dem schwersten Bedenken jedoch nicht befreit, erscheint diese Grundanschauung in den Theorieen von K. A. Vogel, Nöllner, De la Rive [161]; über sie, sowie über die von Schwaab [162] daran angebrachten Modifikationen ist neben den Kritiken von Wähner und Baurmeister auch die sehr klare und umsichtige Besprechung J. Müller's [163] zu vergleichen. Immer soll sich bei der ersten Störung das atmosphärische Wasser auf den allererst gebildeten Eiskern niederschlagen, allein gerade dessen Entstehung bedarf noch einer plausiblen Erklärung. Olmsted bringt im Sinne der Dove'schen Luftstromtheorie die Hagelbildung mit dem Zusammentreffen des Polar- und Aequatorialstromes in Verbindung [164], allein die sich ihm aus dieser Hypothese ergebenden Lehren über die geographische Verbreitung des Hagels stehen mit den Thatsachen so wenig in Einklang, dass sich aus dieser Nichtübereinstimmung sogar ein Argument gegen die Hypothese selbst herleiten lässt.

d) **Die Vakuum-Theorie.** Ein durch seine höchst apodiktisch auftretenden Spekulationen über alle möglichen Probleme der Erdphysik uns bereits bekannter Naturforscher, Mohr (III. Abth., Kap. IV, §. 7; IV. Abth., Kap. IV, §. 6), lässt auf irgendwelche Weise in der Luft ein Vakuum entstehen, in welches kalte Luft mit Vehemenz sich hineinstürzt [165]. Die Wirkung der latent gewesenen Wärme unterschätzt auch er [166].

e) **Die Bläschen-Theorie.** Dieselbe, von Renou aufgestellt, tritt insofern sehr ehrlich und bescheiden vor uns hin, als sie nicht über sämmtliche Vorgänge Rechenschaft zu geben sich anmaasst [167]. Der Atmosphäre soll eine besondere Prädisposition innewohnen, dass sich Eiskrystalle von — 40° bis — 50° mit Bläschen mischen können, welche noch bei — 20° flüssiges Wasser enthalten. Die Verwandtschaft mit den unter c) betrachteten Ansichten liegt am Tage.

f) **Die kosmische Theorie.** Der russische Mathematiker Schwedoff (s. o.) geht davon aus, dass Eiskrystalle von der Schönheit, wie wir sie in Abich's Zeichnungen bewundern, unmöglich während des kurzen Falles durch unsere Atmosphäre sich gebildet haben könnten. Der Sitz ihrer Bildung müsse vielmehr der Weltraum sein, und weshalb solle es nicht auch Meteorite geben können, welche statt aus anderen Metallen und Metalloiden blos aus Wasser- und Sauerstoff bestünden? Baumhauer's und Nordenskiöld's Beobachtungen über

Meteorstaub werden zum Vergleiche herangezogen. Allein gerade der krystallinische Charakter der Körner bleibt hiebei ebenfalls unerklärt; auch wendet Stentzel [168] ein, dass die elektrischen Entladungen, ohne deren Hinzutreten wir uns Graupel- und Hagelfall kaum denken können, weit eher auf einen atmosphärischen, als auf einen kosmischen Heerd der Schlossen hinwiesen.

g) **Die dynamischen Theorieen.** In neuerer Zeit geht man immer entschiedener dazu über, die Lehre vom Hagel als ein blosses Zusatzglied zur dynamischen Meteorologie zu behandeln. Reye und Faye nehmen, bei aller sonstiger Verschiedenheit, doch übereinstimmend an, dass zur Bildung von Hagelkörnern das Vorhandensein einer Trombe Vorbedingung sei, und auch Crousté ist dieser Meinung [169]. Gemmel will [170], was uns nicht unstatthaft erscheint, den von Mohr (s. o.) mehr blos als Deus ex machina eingeführten Hohlraum durch jene luftverdünnten Räume ersetzen, welche erfahrungsgemäss die Axe einer Wettersäule umschliessen. Auch Andries begründet, als einen Ausfluss seiner Cyklonaltheorie, diejenige des Hagels darauf, dass feuchtwarme Luftmassen durch die Wirbelbewegung der Trombe in die Region der Cirruswolken emporgerissen werden und dort erkalten [171]. —

Dass die kausale Begreifung des Hagelphänomenes erst im langsamen Werden ist, brauchen wir nach dieser Uebersicht über die wichtigeren Theorieen kaum noch besonders hervorzuheben. Soviel aber steht wohl fest, dass gerade in dieser dunklen Frage die moderne meteorologische Dynamik noch ihre schönsten Triumphe zu feiern berufen ist.

[1] Loomis, Mémoires de météorologie dynamique, trad. par Brocard, Paris 1879. — [2] Gorceix, Observations sur le climat et le régime des pluies du plateau de la province de Minas-Geraes, Bull. de la soc. de géogr. de France, 1883. S. 423. — [3] Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1883. S. 127. — [4] Reiss, Sinken die Anden?, Verhandl. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 48 ff. — [5] Mohn, Grundzüge etc., S. 133. — [6] Felberg, Ueber die unperiodischen monatlichen Schwankungen des Barometerstandes, Hamburg 1878. — [7] v. Bezold-Lang, Beobachtungen der meteorologischen Stationen in Bayern, 5. Band, München 1883. S. XXVII. — [8] Buchan, The mean pressure of the atmosphere and the prevailing winds over the globe for the months and for the year, Transact. of the royal society of Edinburgh, Vol. XXV. S. 575 ff. — [9] Lambert, Sur les observations du vent, Mém. de l'ac. royale de Berlin, Année 1777. — [10] Supan, Statistik der unteren Luftströmungen, Leipzig 1881. S. 3 ff. — [11] Mohn, Grundzüge etc., S. 138. — [12] Montigny, La direction absolue du vent est le plus souvent oblique à l'horizon, Bull. de l'ac. belg., 1873. S. 475 ff. — [13] Guldberg-Mohn, Etudes sur les mouvements de l'atmosphère, I. Christiania 1876, II, ibid. 1880. — [14] Oberbeck, Ueber die Guldberg-Mohn'sche Theorie horizontaler Strömungen, Verhandl. d. II. deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 93 ff. — [15] Reye, Ueber verticale Luftströme in der Atmosphäre, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 9. Jahrgang. S. 250 ff. — [16] Reye, Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre, mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnenatmosphäre, Hannover 1880. — [17] Reye, Ueber etc., S. 262. — [18] Ibid. S. 274 ff. — [19] Supan, Statistik etc., S. 15. — [20] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 108 ff. — [21] Mann-Laughton-Strachan-Ley-Symmons-Scott, Die moderne Meteorologie, Braunschweig 1882. S. 114. — [22] Sprung, Geometrische Ableitung der Grösse des ablenkenden Einflusses der Erdrotation auf horizontale Bewegungen, Meteorol. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 250 ff. — [23] Loomis, Mémoires etc., S. 52. — [24] Ibid. S. 16 ff. — [25] F. Roth, Beitrag zur Sprung'schen Trägheitskurve,

Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 16. Jahrgang. S. 283 ff. — [26] Bruns, Die Trägheitsbahn auf der Erdoberfläche, Math. Annalen, 22. Band. S. 296 ff. — [27] Sprung, Die Trägheitskurven auf rotirenden Oberflächen als ein Hülfsmittel bei'm Studium der Luftbewegungen, Zeitschr. der öst. Ges. f. Met., 15. Jahrgang. S. 1 ff. — [28] Sprung, Studien über den Wind und seine Beziehungen zum Luftdruck, Hamburg 1879. S. 15. — [29] Biehringer, Ueber Kurven auf Rotationsflächen, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 22. Jahrgang. S. 151 ff. — [30] Hann, Ueber den Fön in Bludenz, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 8. Band. S. 115 ff. — [31] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara; Stationen eines Naturforschers, deutsch von Vogt, Jena 1872. S. 274 ff. — [32] Dollfus-Ausset, Matériaux pour l'étude des glaciers, vol. III., Paris 1865. S. 172 ff. — [33] Dove, Ueber Eiszeit, Fön und Sciroco, Berlin 1867. — [34] Ibid. S. 11 ff. — [35] Ibid. S. 24 ff. — [36] Sprung, Studien etc., S. 33. — [37] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Astronomie, Meteorologie und Klimatologie, Zürich 1880. S. 335 ff. — [38] Ibid. S. 353. — [39] Schlemüller, Vier physikalische Abhandlungen, Prag 1881. S. 15. — [40] Grad, Sur l'origine des vents chauds des Alpes et la construction physique du Sahara, Compt. rend. de l'ac. franç., tome LXXIX. S. 246 ff. — [41] Gelcich, Studien zur Entwickelungsgeschichte der Schifffahrt, mit besonderer Berücksichtigung der nautischen Wissenschaften, Laibach 1882. S. 96. — [42] Ibid. S. 78 ff. — [43] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Carl Ritter und Alexander v. Humboldt, München 1877. S. 765. — [44] Ibid. S. 766. — [45] Sprung, Studien etc., S. 1. ff. S. 29 ff. — [46] Ferrel, Motion of fluids and solids relative to the earth's surface, comprising applications to the winds and currents of the ocean, New-York 1860. — [47] Dove, Meteorologische Untersuchungen, Berlin 1832. S. 125. — [48] Mühry, Untersuchungen über die Theorie und das allgemeine geographische System der Winde, Göttingen 1869. — [49] Benoni, Der Einfluss der Axendrehung der Erde auf das geographische System der Winde, Petermann's geogr. Mittheil., 1877. S. 93 ff. — [50] Ratzel, Physikalische Geographie der vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 304 ff. — [51] R. Wolf, Notizen zur Kulturgeschichte der Schweiz, Nr. 131. — [52] Lorenz-Rothe, Lehrbuch der Klimatologie, Wien 1874. — [53] Coffin, The winds of the globe, Washington 1875. S. 660. — [54] Dippe, Die Ungleichheit des Barometerstandes in benachbarten, in gleicher Höhe über dem Meere gelegenen Stationen, Beitr. zur Statistik Mecklenburgs, II, (2) Rostock 1861. — [55] Buys-Ballot, Erläuterung einer graphischen Methode zur gleichzeitigen Darstellung der Witterungserscheinungen an vielen Orten, Ann. d. Phys. u. Chem., 4. Ergänzungsband. S. 559 ff. — [56] Die mod. Met., S. 97 ff. — [57] Günther, Recension hiezu, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 463. — [58] Galton, A development of the theory of cyclones, Proceed. of the royal society of London, Vol. XII. S. 385 ff. — [59] van Bebber, Die moderne Witterungskunde, Prag 1878. S. 12. — [60] Sprung, Theoretische Begründung des Buys-Ballot'schen Gesetzes, Ann. d. Hydrogr. u. mar. Met., 8. Jahrgang. S. 603 ff. — [61] Dove, Ueber die Rückfälle der Kälte im Mai, Abhandl. d. k. pr. Akad. d. Wissensch., Phys. Kl. 1836. S. 192 ff. — [62] Hellmann, Ueber den jährlichen Gang der Temperatur in Norddeutschland, Zeitschr. d. k. pr. statist. Bureaus, 1883. — [63] van Bebber, Wissenschaftliche Ergebnisse aus den monatlichen Uebersichten der Witterung, Hamburg 1881. S. 32. — [64] v. Bezold, Die Kälterückfälle im Mai, München 1883. — [65] Wild, Ueber die Beziehungen zwischen Isobaren und Isanomalen der Temperatur, Mél. phys. et chim. tirés du bulletin de l'ac. imp. de St. Pétersbourg, tome XI. S. 329 ff. — [66] Hildebrandson, Le marche des isothermes au printemps dans le nord de l'Europe, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 16. Jahrgang. S. 340. — [67] v. Bezold, Die Kälterückfälle etc., S. 25. — [68] van Bebber, Die gestrengen Herren, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 18. Band. S. 145 ff. — [69] Köppen, Zur Frage der „gestrengen Herren", ibid. 19. Band. S. 183 ff. — [70] Billwiller, Mittheilung über die Kälterückfälle im Mai, Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. zu Zürich, 1877. S. 207 ff. — [71] Billwiller, Die Kälterückfälle im Mai, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19. Band. S. 245 ff. — [72] Hann, Handbuch etc., S. 385 ff. — [73] Ibid. S. 390. — [74] Ibid. S. 389. — [75] Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 28 ff. — [76] Ibid. S. 794 ff. — [77] Ibid. S. 800 ff. — [78] Hann, Handbuch etc., S. 109. — [79] Ibid. S. 319. — [80] Ibid. S. 104. — [81] Ibid. S. 391. — [82] Ibid. S. 198 ff. — [83] Berger, Der Wisper- und der Bodenthalwind, Petermann's geogr. Mittheil., 1864. S. 201 ff. — [84] Hann, Handbuch etc., S. 201 ff. — [85] Ibid. S. 204. — [86] Supan, Statistik etc., S. 16 ff. — [87] Ibid. S. 19 ff. — [88] Loomis, Results derived from an examination of the

United States Weather-Maps for 1872, 1873 and 1874, Amer. Journal of science and arts, Vol. X. S. 1 ff. — [89] Hildebrandson, Essai sur les courants supérieurs de l'atmosphère, Upsala 1875; Atlas des mouvements supérieurs de l'atmosphère, Stockholm 1877. — [90] Prestel, Sur les lignes des cirrus comme moyen de prédire les orages, Mondes, (2) Vol. XXXVII. S. 144. — [91] van Bebber, Meteorologie, Zeitschrift für die gebildete Welt, 1883. — [92] Ley, The laws of the winds prevailing in Western Europa, Part I, London 1872. — [93] Köppen, Ueber den Einfluss der Temperaturvertheilung auf die oberen Luftströmungen und auf die Fortpflanzung der barometrischen Minima, Gaea, 19. Jahrgang. S. 201 ff. — [94] v. Miller-Hauenfels, Theoretische Meteorologie, Graz 1884. — [95] Brounow, Die fortschreitende Bewegung von Cyklonen und Anticyklonen, Dorpat 1882. — [96] Graf Berg, Brounow's neue Theorie der fortschreitenden Bewegung von Cyklonen und Anticyklonen, Gaea, 19. Jahrgang. S. 137 ff. — [97] Köppen, Ueber den Einfluss etc., S. 209. — [98] van Bebber, Wissensch. Ergebn. etc., Hamburg 1877–82. — [99] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1880. S. 222. — [100] Mühry, Ueber die geographische Verbreitung grosser europäischer Stürme, Petermann's geogr. Mittheil., 1877. S. 21. — [101] Maydell, Ueber die Bestimmung der Sturmbahnen nach den Temperaturänderungen, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 9. Band. S. 17 ff. — [102] Wittwer, Ueber die Umbiegung der Cyklonenbahnen an der Grenze der Passatzone, ibid., 10. Band. S. 1 ff. — [103] van Bebber, Die Untersuchungen von H. H. Hildebrandson über die Vertheilung der meteorologischen Elemente im Umkreise der barometrischen Maxima und Minima, Meteor. Zeitschr., 1. Jahrgang. S. 111 ff. — [104] Ibid. S. 115. — [105] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie, 2. Band, Wien 1883. S. 732. — [106] Gehler's physikalisches Wörterbuch, 2. Aufl., 10. Band, 2. Abtheil., Leipzig 1842. S. 1635 ff. — [107] Annual Report of the Chief Signal Officer to the Secretary of the War for the fiscal year ending june 30, 1880, Part II, Washington 1881. S. 984 ff. — [108] Ibid. S. 1028. — [109] Gehler, (a. a. O.) S. 1667. — [110] Reye, Ueber etc., S. 276. — [111] Faye, The laws of storms, Annuaire du bureau des longitudes, 1875. S. 401 ff. S. 475 ff. S. 497 ff. S. 535 ff. — [112] Hellmann, Eine historische Bemerkung, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19. Band. S. 43. — [113] Strehlke, Ueber den Einfluss der Gewitter auf den Barometerstand, Ann. d. Phys. u. Chem., 19. Bd. S. 148 ff. — [114] Gehler, (a. a. O.) S. 1682. — [115] Reye, Ueber etc., S. 252 ff. — [116] vom Rath, Ueber die Wettersäule, welche am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter zweimal über den Rhein gieng, Ann. d. Phys. u. Chem., 104. Band. S. 631 ff. — [117] Handbuch etc., S. 736 ff. — [118] Ibid. S. 739. — [119] Möller, Lufttemperatur und Luftbewegung in einer Böe. Meteor. Zeitschr., 1. Jahrgang. S. 230 ff. — [120] Köppen, Der Gewittersturm vom 9. August 1881. Ann. d. Hydr. u. mar. Met., 10. Jahrgang. S. 604 ff. — [121] Mohn, Det Norske Meteorologiske Instituts Storm-Atlas, Kristiania 1870. — [122] Hirth, Ursprung und Herleitung des Wortes Taifun, Ann. d. Hydr. u. mar. Met., 9. Jahrgang. S. 80. — [123] Handbuch etc., S. 742. — [124] Knipping, A great taifun of August 1880, Yokohama 1881. — [125] Schück, Die Wirbelstürme oder Cyklonen mit Orkangewalt, Oldenburg 1881. — [126] Handbuch etc., S. 794 ff. — [127] Gelcich, Physische Geographie des Meeres. Wien 1881. S. 169 ff. — [128] Gelcich, Der Viscovich'sche Cyklonograph nebst einigen geschichtlichen Bemerkungen über Orkan-Dromoskope. Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1883. S. 161 ff. — [129] Andries, Die Entstehung der Cyklonen, Gaea, 19. Jahrgang. S. 698 ff. — [130] Dove, Einige Bemerkungen über die meteorologischen Aufsätze des Herrn Vettin, Ann. d. Phys. u. Chem., 102. Band. S. 607 ff. — [131] Vettin, Experimentelle Darstellung von Luftbewegungen unter dem Einflusse von Temperaturunterschieden und Rotationsimpulsen, Meteor. Zeitschr., 1. Jahrgang. S. 227 ff. — [132] Handbuch etc., S. 777 ff. — [133] van Bebber, Die Wirbelstürme. Deutsche Revue, 1878. S. 333 ff. — [134] Nasse, Beobachtungen über die Beziehungen des Auftretens schlagender Wetter in Steinkohlengruben zu den Veränderungen des Luftdruckes, Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, 25. Band. — [135] Ueber die Rolle des Kohlenstaubes bei den Grubenexplosionen. Gaea, 18. Jahrgang. S. 573 ff. — [136] Lersch, Hydrophysik, Berlin 1865. S. 209 ff. — [137] Baurmeister, Geschichte der Hageltheorieen, Glückstadt 1877. — [138] Wähner, Historisch-kritische Uebersicht über die Hageltheorieen, Rotterdam 1876. — [139] Ibid. S. 12. — [140] Abich, Ueber den krystallinischen Hagel im trialethischen Gebirge und über die Abhängigkeit der Hydrometeore von der Physik des Bodens. Tiflis 1871; 2. Aufl., Wien 1879. — [141] Schwedoff, Der Ursprung des Hagels, Gaea, 19. Jahrgang. S. 20 ff. — [142] Wähner, Hist.-krit. etc., S. 16 ff. — [143] Fritz, Die geo-

graphische Vertheilung des Hagels, Petermann's geogr. Mittheil., 1876. S. 362 ff. — [144] v. Danckelman, Regen, Hagel und Gewitter im indischen Ocean, Hamburg 1880. — [145] v. Humboldt, Rélation historique sur le voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, Vol. III., Paris 1825. S. 193. — [146] van Bebber, Die Regenverhältnisse Deutschlands, München 1877. S. 4. — [147] v. Danckelman, Regen etc., S. 35. — [148] Bühler, Ergebnisse einer 55jährigen Hagelstatistik, Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. zu Zürich, 1884. S. 180. — [149] Lapostolle, Traité des parafoudres et paragrêles, Amiens 1820. — [150] Arago, Ueber den Hagel und die Hagelableiter, Ann. d. Phys. u. Chem., 13. Band. S. 344 ff. — [151] Arbuthnot, Ob und was es für Mittel gebe, die Hochgewitter fortzutreiben und eine Gegend vor Schauer und Hagel zu bewahren, München 1775. — [152] v. Weber, Ueber die Unwirksamkeit des Schiessens auf Gewitter, Dillingen 1791. — [153] Romstöck, Die Astronomen, Mathematiker und Physiker der Diöcese Eichstätt, I, Eichstätt 1884. S. 35. — [154] Wähner, Hist.-krit. etc., S. 27 ff. — [155] Lichtenberg, Ueber die Entstehung des Hagels, Phys. u. math. Schriften, ed. Kries, 3. Band. Göttingen 1804. S. 85 ff. — [156] Volta, Sopra la grandine, Mem. dell' istituto nazion. Ital., Classe di fis. mat., tomo I, 2. S. 125 ff. — [157] Riccardi, Sulle opere di Alessandro Volta, Modena 1877. S. 33. — [158] Prechtl, Beiträge zur elektrischen Meteorologie, Gehlen's Journal, 8. Bd. S. 277 ff. — [159] v. Buch, Ueber den Hagel, Abhandl. d. k. pr. Akad. d. Wissensch., Phy. Kl., 1814. S. 75 ff. — [160] Wähner, Hist.-krit. etc., S. 42 ff. — [161] Ibid. S. 55 ff. — [162] Schwaab, Versuch einer neuen Theorie der Hagelbildung. Marburg 1844. — [163] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 721 ff. — [164] Wähner, Hist.-krit. etc., S. 53 ff. — [165] Mohr, Ueber die Entstehung des Hagels. Ann. d. Phys. u. Chem., 117. Band. S. 89 ff.; Bestätigung meiner Hageltheorie, ibid., 120. Band. S. 167 ff. — [166] Wähner, Hist.-krit. etc., S. 64 ff. — [167] Ibid. S. 69 ff. — [168] Stentzel, Beobachtung eines St. Elms-Feuers unter Schnee- und Regenfall, Gaea, 19. Jahrgang. S. 216 ff. — [169] Wähner, Hist.-krit. etc., S. 71 ff. — [170] Gemmel, Woher kommt die Kälte, welche die Massen von Wasser zum Gefrieren bringt, die als Hagel herabfallen?, Gaea, 18. Jahrgang. S. 625 ff. — [171] Andries, Die Entstehung etc., S. 701 ff.

Kapitel VII.

Allgemeine Klimatologie.

§. 1. **Klimatologie oder geographische Meteorologie?** Nicht selten werden beide Worte, welche an der Spitze dieses Paragraphen stehen, in vollkommen gleichbedeutendem Sinne gebraucht, und insbesondere ist es Hellmann, der in seinem auch für die klassifikatorische Scheidung der einzelnen meteorologischen Theildisciplinen bedeutsamen Werke für diese Identität eintritt [1]. Um ein Urtheil darüber zu gewinnen, ob nicht doch die Auffassung dieses letzteren Wortes eine zu enge ist, erinnern wir uns des Umstandes, dass doch auch in den früheren Kapiteln, welche von den Lichterscheinungen, von der Luftelektricität und von den Luftströmungen handelten, sehr häufig die geographischen Verhältnisse nicht unbesprochen bleiben konnten, ohne dass doch diese Besprechung einen klimatologischen Charakter trug. In unseren Augen erscheint die geographische Meteorologie als die allgemeinere, die Klimatologie als die speziellere Disciplin. Der Begriff der Klimatologie hat sich allerdings erst ganz allmählig zu voller Klarheit herausgebildet. Gronau's nachgelassenes

Manuskript „Ueber das Klima verschiedener Weltgegenden“ [2] ist wohl der erste systematische Versuch in deutscher Sprache gewesen, daran reihte sich das Lehrbuch von Klauprecht [3], das umfassende Werk Mühry's [4] und nächstdem dasjenige der beiden österreichischen Meteorologen Rothe und Lorenz v. Liburnau [5], welches besonders die Zwecke der Forst- und Bodenkunde in's Auge fasst. Alle diese verdienstlichen Leistungen wurden aber in den Hintergrund gedrängt durch das den augenblicklichen Stand unseres Wissens in klimatologischer Beziehung meisterhaft zeichnende Werk von Hann*) [6], durch welches auch der Begriff der Disciplin in völlig befriedigender Weise bestimmt worden ist.

A. v. Humboldt, dessen Untersuchungen über Isothermen u. s. w. recht eigentlich erst das Fundament zu einer vergleichenden Betrachtung der Klimaverhältnisse unserer Erde gelegt haben, machte den Begriff Klima allzusehr von den Beziehungen unseres menschlichen Organismus zum Wetter abhängig, indem er definirte [7]: „Der Ausdruck Klima bezeichnet in seinem allgemeinsten Sinne alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsere Organe merklich afficiren.“ Nun können wir aber doch auch von einem Erdklima für jene geologische Vorzeit sprechen, in der es noch keine oder doch nur ganz niedrig organisirte Lebewesen gab, wir können in allgemeinen Zügen auch das Klima entfernter Weltkörper schildern, deren Bewohnbarkeit mehr denn zweifelhaft ist (I. Band, S. 124 ff.). Derlei Erwägungen nöthigen uns, die allzunahe Verbindung der Klimalehre mit der Anthropogeographie aufzugeben und mit Hann [8] zu erklären: „Unter Klima verstehen wir die Gesammtheit der meteorologischen Erscheinungen, welche den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgend einer Stelle der Erdoberfläche charakterisiren . . . Die Klimalehre wird also die Aufgabe haben, uns mit den mittleren Zuständen der Atmosphäre über den verschiedenen Theilen der Erdoberfläche bekannt zu machen, ohne darauf zu verzichten, uns auch die Abweichungen davon kennen zu lehren, welche innerhalb längerer Zeiträume an demselben Orte eintreten können**).“

In diesem Sinne und im unmittelbaren Anschlusse an Hann soll denn auch in diesem und dem folgenden Kapitel ein gedrängter Ueberblick über die theoretische und beschreibende Klimatologie gegeben werden. Das gerade für diesen Wissenszweig systematisch und sachlich

*) Wer sich über den reichen Inhalt des Hann'schen Werkes vorläufig zu unterrichten wünscht, was bei dessen Vielseitigkeit auch dem Weiterstrebenden nur anzurathen ist, greife zu den auch an selbstständigen Bemerkungen sachlicher Natur nicht armen Besprechungen, welche A. Kirchhoff im „Ausland“, van Bebber im „Humboldt“ und Zöppritz in der „Zeitschrift für wissensch. Geographie“ gegeben haben.

**) Berechtigt in seiner Art ist selbstverständlich auch der Humboldt'sche Standpunkt, dem in einer den wissenschaftlichen Anforderungen unserer Zeit vortrefflich angepassten Arbeit von W. Köppen Rechnung getragen wird [9]. Unsere Zeit, welche auf Kolonisationsbestrebungen einen so hohen — vielleicht allzuhohen — Werth legt, hat alle Ursache, eine im Sinne des Altmeisters gehaltene Klimatologie neben der rein geographischen Unterdisciplin der Erdphysik zu pflegen, um gefährliche Enttäuschungen von Mitbürgern hintanzuhalten. Wir verweisen z. B. auf Karsten's Nachweisungen [10] über das die deutsche Einwanderung begünstigende Seeklima des südlichen Brasiliens.

einer gründlichen Benützung würdige Werk von Supan [11] kam dem Verf. leider zu spät zu, um in diesen Kapiteln einer solchen theilhaftig werden zu können.

§. 2. **Die klimatischen Faktoren.** So bezeichnet Hann [12] diejenigen meteorologischen Elemente, auf deren Verschiedenheit diejenige des klimatischen Verhaltens hauptsächlich oder theilweise beruht. Als solche erscheinen in erster Linie natürlich die Temperaturverhältnisse, ihnen fast koordinirt erscheint die Feuchtigkeit, die Bewölkung nimmt den dritten Platz ein. Auch der Wind ist kein unwichtiger Faktor und bedarf deshalb besonderer Betrachtung; dagegen „der Luftdruck und die Schwankungen desselben sind als klimatologischer Faktor von untergeordneter Bedeutung, ganz im Gegensatze zu der wichtigen Rolle, welche dieses Element in der Meteorologie spielt“ [13]. Wir können an diesem Orte also wohl vom Luftdrucke absehen, wie von der Verdunstung [14], und was die von Hann näher erörterte Beschaffenheit der Luft im chemischen Sinne betrifft, so hat hierüber schon das erste Kapitel das Nothwendigste beigebracht. Auch die atmosphärische Elektricität braucht nicht von Neuem vorgenommen zu werden, denn selbst wenn dieselbe irgend einen klimatologischen Einfluss besässe, was Hann leugnet, so würde sich derselbe doch mit unseren heutigen Hülfsmitteln schwerlich nachweisen lassen [15]. Dagegen ist die Pflanzenphänologie ein nicht zu unterschätzendes Hülfsmittel für den Klimatologen, und wir selbst möchten diesem noch ein weiteres zur Seite stellen, dessen wir leider bei Hann keine Erwähnung gethan finden. Wir meinen die Rücksichtnahme auf die mit den Jahreszeiten wechselnden Eisverhältnisse stehender und fliessender Gewässer.

§. 3. **Temperaturverhältnisse.** Wir haben zu unterscheiden zwischen der Luftwärme und der strahlenden Wärme, welch' letztere der Meteorologie als solcher ziemlich gleichgültig, für die Klimatologie dagegen weit wichtiger ist, als man vor dem Erscheinen der Hann'schen Untersuchungen geglaubt hatte. Die Luftwärme hat eine doppelte Quelle; während die durch unsere Atmosphäre hindurchpassirenden Sonnenstrahlen direkt zur Erwärmung der ersteren in kaum nennenswerthem Maasse beitragen, weil unsere Erdluft ein sehr diathermaner Körper ist, dringen dieselben mehr oder weniger tief in den Boden ein, dessen obere Schichten erwärmt werden und die empfangene Wärme durch Leitung zum Theile an die unteren Luftpartieen abgeben. Ausserdem aber strahlt die Erde die Wärme auch wieder aus, und dieser Process trägt gleichfalls, und zwar intensiver, zur Erwärmung der Luft bei. Namentlich bei Nacht ist diese Ausstrahlung des Erdkörpers eine äusserst energische, nur durch die Wolkendecke gemässigte, so dass in der unmittelbaren Nähe des Bodens für die daselbst wachsenden Pflanzen eine grosse Frostgefahr sich ergiebt *). Jener Erwärmungszustand nun, in welchen die Luft durch

*) Dass unter diesen Umständen auch die Bodentemperatur nicht gleichgültig sein kann, liegt auf der Hand. Im I. Bande (S. 300 ff.) war von dieser Temperatur, freilich unter einem ganz anderen als dem klimatologischen Gesichtspunkte, die Rede, und aus diesem Grunde müssen wir auch noch ein paar Nach-

Bezug aus den beiden genannten Quellen versetzt wird, ist identisch mit dem, was wir Luftwärme nannten. Hann stellt nun die Bedingung auf [19], dass Derjenige, welcher von einer bestimmten Erdgegend ein vollständiges Bild der für jene maassgebenden thermischen Klimatologie zu entwerfen gewillt ist, sich acht Data verschafft haben müsse. Es sind diess die folgenden: I. die Monats- und Jahresmittel der Luftwärme; II. die Grösse der täglichen Wärmeschwankung in den einzelnen Monaten; III. die Temperaturmittel einer frühen Morgenstunde und einer Nachmittagsstunde; IV. die äussersten Grenzen, innerhalb deren sich die Mitteltemperatur der einzelnen Monate gehalten hat; V. die mittleren Monats- und Jahresextreme; VI. die absolut höchsten und niedrigsten Temperaturen für einen fixen Zeitraum; VII. die mittlere Veränderlichkeit der Temperatur; VIII. die mittleren Frostgrenzen im Frühling und Herbst sammt der Anzahl der frostfreien Tage. — Von diesen Elementen bezeichnet Hann III, IV, VI und VII blos als wünschenswerth, die übrigen sohin als absolut nothwendig.

Für den Antheil, welchen das organische Leben am klimatischen Charakter eines Landes nimmt, ist, wie eben Hann in längerer Ausführung nachweist [20], die Berücksichtigung der strahlenden Wärme von hoher Bedeutung. Diese Bedeutung hat sich insbesondere herausgestellt, als man über das eigentliche Wesen der sogenannten klimatischen Kurorte Klarheit sich zu verschaffen suchte. Freilich gebricht es annoch sehr an instrumentalen Hülfsmitteln für Beobachtung und Messung der Intensität der Sonnenstrahlung, und es bleibt fast einzig das Leslie'sche Schwarzkugelthermometer (im luftleeren Raume aufgestellt) übrig. Durch dessen Kugel wird die dunkle Wärmestrahlung der Umgebung abgehalten, wogegen die leuchtenden Strahlen fast ungeschwächt das Glas durchdringen. Wojeikoff hat zahlreiche Versuchsreihen, die mit Saussure's Heliothermometer, mit J. Herschel's Aktinometer und mit Pouillet's Pyrheliometer über direkte Insolation gemacht waren, gesammelt und diskutirt und u. a. gefunden [21], dass an hochgelegenen Orten diese direkte Bestrahlung im Winter unverhältnissmässig viel grösser ist, als an benachbarten niedrigeren Orten. Doch gelang die Ableitung allgemeiner Gesetze nicht. Auch die Reflexion der Wasserflächen kann sich klimatisch fühlbar machen; am Genfer See hat nach Hann (a. a. O.) Dufour folgende Resultate erzielt:

Sonnenhöhe	4°	7°	16°
Reflektirte Wärme in % der direkten	68	40—50	20—30

trage zu dem Gesagten liefern. Die Messung der Bodentemperaturen ist durch das von Wollny [16] zu agrarphysikalischen Zwecken angegebene Bodenthermometer erleichtert und verschärft worden. Die Bewegung der solaren Wärme innerhalb der Erde bis hin zu jener invariablen Schicht, die unter sehr hohen Breiten mit nie aufthauendem Eise belegt ist, ist zum Gegenstande ausgedehnter analytischer Untersuchungen von Frolich [17] und Saalschütz [18] gemacht worden, welche sich namentlich der uns aus Kapitel II §. 8 bekannten Entwickelung in trigonometrische Reihen bedienten.

Ja, wenn man ganz genau verfahren will, so hat man auch darauf zu achten, wie die den betreffenden Beobachtungsplatz umgebenden Flächen nach ihrem Rauhigkeitsgrade, nach ihrer Färbung u. s. w. — bei Metallflächen wäre auch auf die Polarisation Bedacht zu nehmen — Wärmestrahlen zurückwerfen. „Da das Gefühl der Wärme und der Annehmlichkeit bei'm Aufenthalte in freier Luft," sagt Hann [22], „von dem Gesammteffekte der direkten und reflektirten Strahlung abhängt, so ergiebt sich daraus der beträchtliche Einfluss der Umgebung eines Wohnortes auf das, was man die klimatische Temperatur nennen könnte."

§. 4. **Feuchtigkeit und Klima.** Die klimatische Ortsbeschreibung verlangt ferner, dass man die Monatsmittel des absoluten und relativen Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre kennt (s. Kap. I, §. 2). Klimatologisch ist aber die relative Feuchtigkeit ein weit einflussreicherer Faktor, als die absolute, weil durch sie die Evaporationskraft des Klima's bedingt ist, die Stärke der Verdunstung, welche dem Wasserbedürfniss der Organismen proportional ist [23] *). Des Ferneren ist eine genaue Kenntniss der Niederschlagsverhältnisse erforderlich; man muss die Monats- und Jahressummen der Wasserstände im Ombrometer, sowie die Zahl der von Niederschlägen betroffenen Tage kennen, um für einen Zeitraum von n Tagen die Regenwahrscheinlichkeit $w = \frac{n'}{n}$ zu finden, unter n' die mittlere Zahl der Niederschlagstage für den fraglichen Zeitraum verstanden. Auch ist jetzt der Unterschied zwischen Regen und Schnee nicht mehr so unerheblich, wie er früher, als es sich um reine Meteorologie handelte, hingestellt ward.

§. 5. **Die Bewölkung und das Klima.** Der Grad der Bewölkung, in Procenten des Gesammtfirmamentes ausgedrückt, womöglich auch die Dauer des Sonnenscheines, durch den Campbell-Stokes'schen „Sunshine recorder" registrirt, endlich die Anzahl der Nebeltage gehören als Inventarstücke in ein umfassendes klimatographisches Tableau [24]. Auch die Thauverhältnisse zu kennen, empfiehlt sich. Die Bewölkungsgrösse ist deshalb mit in den Kreis der festzustellenden Elemente zu ziehen, weil sie ein Maass für den Grad der Trockenheit abgiebt. Man zeichnet am besten in die Karte des klimatologisch zu studirenden Gebietes die Isonephen oder Kurven gleicher Bewölkungsgrösse ein [25], wie diess für Europa in Fig. 49 (nach Renou) geschah, und zieht aus diesem Diagramm die geeigneten Schlüsse. So zeigt sich, dass in unserem Kontinent die Trockenheit zunimmt, wenn man im Allgemeinen von Nordwest nach Südost in das Binnenland hinein sich bewegt. Die geringste

*) Nach Desor ist die geringe relative Feuchtigkeit der nordamerikanischen Luft schuld an der nervösen Erregbarkeit der Yankees, welche in fast auffälliger Weise sich verringern soll, wenn dieselben längere Zeit auf europäischem Boden weilen. Noch weit stärker soll jedoch der bezügliche klimatische Unterschied sich äussern, wenn man neben den Bewohnern der dürren Sahara diejenigen des feuchten Sudân betrachtet, während doch die Insolationsverhältnisse der beiden Erdräume kaum merklich von einander abweichen.

Himmelsbedeckung haben wahrscheinlich Nordafrika, Arabien und die Wüstengebiete südlich der Rocky Mountains.

§. 6. **Bedeutung der Winde.** Der Wind äussert in mehr denn Einer Hinsicht eine nachhaltige klimatische Einwirkung [26]; er steigert die Verdunstung und Austrocknung des Bodens, vermehrt das Evaporationsvermögen (s. o.) und macht für die Menschen hohe Temperaturen erträglicher. Aber auch die Häufigkeit jeder einzelnen Windrichtung verdient notirt zu werden. Winde sind es auch, welche die theoretisch minder schwierige Klassifikation der Erdoberfläche nach Klimazonen erschweren, indem sie Wärme und Feuchtigkeit aus einem Territorium in das benachbarte überführen und dadurch die Grenzen jener Zonen verschieben oder verwischen. In wie hohem Grade diess gilt, ist daraus zu ersehen [27], dass sich in Ländern, welche durch himmelanstrebende Gebirgswälle allseitig abgeschlossen sind, wie Ostturkestan, am ehesten distinkte Klimatypen ausbilden.

§. 7. **Pflanzen-Phänologie.** Diese ebensosehr der Botanik, wie der Geophysik zuzurechnende Theilwissenschaft ist recht eigentlich ein Kind der Neuzeit. Aphoristische phänologische Notizen über Ankunft und Wegzug der Strichvögel, beginnenden Winterschlaf der Thiere, Blüthezeit gewisser Pflanzen u. dgl. findet man zwar in einer Menge älterer Schriften vor, da schon das Interesse des Landbau's zu solchen Beobachtungen — man denke auch an die „Parapegmen" der Athener — herausforderte, systematisch begründet aber ward die Phänologie erst durch den österreichischen Meteorologen Fritsch und durch den deutschen Botaniker H. H. K. Hoffmann. Ein Schüler des Letzteren, Ihne, veröffentlichte unlängst eine verdienstvolle Schrift [28], worin er die reiche Literatur aufführt und bespricht, welche über diese Fragen seit etwa 30 Jahren erwachsen ist. Die zu lösende Aufgabe kann kurz dahin präcisirt werden: den Einfluss der Temperatur auf die Entwickelungsgeschwindigkeit der Pflanzen in einer für quantitative Betrachtung geeigneten, d. h. mathematischen Form auszudrücken. „Komplicirtere Annahmen," so skizzirt W. Köppen*) die Geschichte der Phänologie [30], „wie z. B. jene, dass die Dauer einer Entwickelungsphase dem Quadrate (Quetelet) oder der Quadratwurzel (Babinet) der Höhe der Temperatur über dem Gefrierpunkte proportional sei, haben sich keines Anklanges zu erfreuen gehabt; die Erkenntniss, dass nur oberhalb gewisser, für alle Pflanzen und Lebensvorgänge verschiedener Schwellenwerthe (Minima) die Länge der Zeit stellvertretend für die Höhe der Temperatur eintreten kann, hat von dem Ausgehen vom Gefrierpunkte ebenfalls Abstand nehmen lassen; die Annahme, dass das Produkt aus der Zeit und der Höhe der Temperatur über einer solchen Schwelle ein richtiges Maass gebe für die Wirkung der Wärme auf die Pflanze, findet hingegen auch heute noch eifrige Verfechter, obwohl nicht geleugnet werden kann, dass auch diese auf willkürlichen Voraussetzungen beruht."

*) Dieser hervorragende Meteorologe hat dereinst seine wissenschaftliche Laufbahn selbst mit einer Studie von phänologischer Tendenz [29] betreten.

Diese sogenannte Theorie der Wärmesummen ist von Linsser [31] aufgestellt und von dem Dorpater Pflanzenphysiologen v. Oettingen [32] nach Kräften gefördert worden. Derselbe muss wohl zugestehen, dass die Anwendung dieser Methode nicht gerade sehr günstige Resultate geliefert hat, doch kommt diess seines Dafürhaltens nur daher, dass über den Zeitpunkt, von welchem an bei der Bestimmung der Temperaturmittel zu rechnen ist, keine Klarheit besteht. v. Oettingen benützt deshalb verschiedene Schwellen und addirt vom ersten Tage des Jahres an bis zum Eintritte der betreffenden Erscheinung die täglichen positiven Temperaturmittel, soweit sie über der angegebenen Schwelle liegen. Diese Summen wurden verglichen, und jener Schwellenwerth ward als der normale bezeichnet, welcher für ein bestimmtes Entwickelungsstadium in verschiedenen Jahren die geringsten Schwankungen aufwies. So fand sich für Prunus Padus die recht gut stimmende Schwelle von 2°, allein bei anderen Pflanzen gelang es Hoffmann weit weniger gut, und so verfiel derselbe wieder darauf, die täglichen Insolationsmaxima zu summiren [33]. Sehr eingehend beschäftigte sich mit der Lehre von den Wärmesummen Staub [34], der aus seinen Untersuchungen vier neue Sätze schöpfte: I. Die Blüthezeit tritt nur dann früher ein, wenn das betreffende Monatsmittel um 2° höher ist, als das mehrjährige Mittel, während geringere Temperatursteigerungen die Vegetation nicht beeinflussen; II. nur wenn das Temperaturmittel der vorhergehenden Monate höher ist, als das mehrjährige, tritt eine Ausnahme von Regel I ein, indem die Vegetation dann unter dem Einflusse der Temperaturnachwirkung steht: III. das geringste Sinken des monatlichen Temperaturmittels unter das mehrjährige Mittel zieht bereits eine Verspätung des Eintrittes des Blüthezeitpunktes nach sich, und zwar wächst die Zeitdifferenz mit der Temperaturdifferenz; IV. nur dann, wenn das Temperaturmittel der vorhergehenden Monate das mehrjährige Mittel übersteigt, wird durch ein besonders niedriges Temperaturmittel die Entfaltung der Vegetation nicht verhindert. — Soviel ist nun durch Fritsch, Hoffmann, v. Oettingen, Ziegler u. A. ausser Zweifel gesetzt, dass eine jede Phase pflanzlicher Entwickelung in engster Kausalbeziehung steht zu dem meteorologischen Verlaufe des Jahres, aber die Art dieser Beziehung müssen wir ehrlicherweise für eine noch unerforschte erklären. Es hat deshalb Rahn wohl daran gethan, die Successionen und Inversionen mehr der Diskussion zu unterstellen [35]. Succession ist der Zeitunterschied in der Aufeinanderfolge der verschiedenen Lebensphasen bei verschiedenen Pflanzenspezies, von der ersten Blüthe ab gerechnet; Inversion ist die Umkehrung der normalen Succession. Graphisch erkennt man das Eintreten der Inversion, wenn die für dasselbe Axensystem verzeichneten und der Theorie nach eigentlich parallel verlaufenden Successionskurven sich durchkreuzen. Die normale Succession erleidet um so häufigere Unregelmässigkeiten, je ungleichartiger die in Betracht gezogenen Spezies ihrer Natur nach sind und je kräftiger diejenigen Faktoren in entgegengesetztem Sinne sich geltend machen, welche den Effekt des täglichen mittleren Minimumbetrages kompensiren.

Diese Angaben dürften hinreichen, um dem der Sache ferner stehenden Leser wenigstens die Ziele und vorläufigen Resultate der

Pflanzen-Phänologie greifbar zu machen. Wie tief jede derartige Untersuchung in das eigentlich klimatologische Gebiet eingreift, sieht Jeder selbst ein; phänologische und klimatische Arbeit bedingt wechselseitige Befruchtung, mag auch unmittelbarer Gewinn mehr für erstere, als für letztere zunächst noch aus diesem Verhältnisse entspringen. Wir halten es mit Hann, der uns anräth [36], phänologische Beobachtungen ja nicht gering zu schätzen, da sie „bei der Darstellung der örtlichen klimatischen Verschiedenheiten auf einem beschränkten Territorium" ihren Werth unter allen Umständen haben. Anweisung zur Anstellung solcher Beobachtungen ertheilt Drude im Jahrgang 1881 der Dresdener „Isis"; phänologische Karten Mitteleuropa's und Ungarn's sind resp. von Hoffmann und Staub in den Jahrgängen 1881 und 1882 von Petermann's „Geogr. Mittheilungen" publicirt worden. Ziegler lieferte eine solche für Frankfurt's Umgebung.

§. 7a. **Gefrieren und Wiederaufgehen der Gewässer.** Wenn Temperatur und Niederschlagsverhältnisse den Charakter des Klima's hauptsächlich bestimmen, so muss auch aus dem Wechsel der Eisbedeckung von Meeren, Seen und Flüssen manche Lehre für die Beurtheilung des Klima's zu erheben sein. Merkwürdigerweise sind für die Ergründung dieses Zusammenhanges, soweit wenigstens unsere Kenntniss reicht, ausschliesslich Gelehrte von schwedischer Abstammung thätig gewesen. Hällström wollte auf diese Art ermittelt haben [37], dass von 1760 an die Wärme für Finnland sich vermehrt habe. Ueber die Methode seiner Forschung belehrt uns eine spätere Arbeit desselben Autors [38]. Er verschaffte sich die Daten der Ent- und Uebereisung für die vier Städte St. Petersburg, Abo und Borgo (in Finnland) und Arosia (in Schweden), konstatirte, dass der erstgenannte Termin jedesmal durchgängig in den April fiel und bestimmte den Tag des April, für welchen das Aufgehen des Eises zu erwarten ist, mittelst der Formel $x = m + n (z - 1718)$, wo z das Jahr der christlichen Zeitrechnung, m und n je eine Konstante bedeutet. Die Methode der kleinsten Quadrate (Kap. II, §. 7) ergab $m = 18{,}24$, $n = 0{,}0222$. Ebenso fand sich der Tag des Zugefrierens $x = 26{,}5 - 0{,}021 (z - 1717)$. Zunächst gilt diess Resultat nur für die russische Hauptstadt, doch weichen auch für die anderen Orte die Zahlen nicht sehr ab.

Mag man vielleicht auch gegen die bei aller Geschicklichkeit doch etwas allzu stereotype Handhabung der Wahrscheinlichkeitsrechnung, wie man ihr in sämmtlichen Arbeiten Hällström's begegnet, den Einwand geltend machen, dass die blosse Errechnung von Naturgesetzen ohne theoretischen Hintergrund keinen besonderen Werth habe, so muss doch immer die Absicht anerkannt werden, ein Problem der Phänologie im weiteren Wortsinne der Rechnung zu unterwerfen. Dass wir damit nicht zu viel sagen und einen anerkannten Terminus nicht etwa irrig anwenden, ist bewiesen, seitdem Hult [39] in Gemeinschaft mit Arnell darauf aufmerksam machte, dass im Processe des Aufthauens der Seen und in dem Entwickelungsprocesse der wieder erwachenden Pflanzenwelt sich stets gleiche Stadien entsprechen. Am umfassendsten angelegt ist gewiss eine Arbeit des uns schon so oft entgegengetretenen Meteorologen Hildebrandson [40], der für nicht weniger als 78 schwedische und finnische Wasserbecken eine gemein-

same Charakteristik aufstellte. Dieselbe umfasst drei Zeitangaben, nämlich erstens das Datum des ersten Frostes, zweitens das Datum der ersten Oeffnung und drittens die Zahl der Tage, in deren Verlauf der See eine Eisdecke trug*). Zieht man Linien durch die Orte, für welche sich übereinstimmende Zahlen ergaben, so übersieht man mit Einem Blicke das gleichzeitige Eintreten in die Winterruhe und in den Lenz, sowie die Vertheilung der Punkte gleicher Winterstrenge. Diese Zeit kann insoferne als das absolute Minimum des pflanzengeographischen Winters betrachtet werden, als ja doch die Vegetation schon vor dem Beginne der Frostperiode erstorben zu sein pflegt.

Mit gleichem Rechte, wie Seen und Wasserläufe, würde man auch die Meere aus klimatologischen Rücksichten auf ihre wechselnden Eisverhältnisse prüfen können, wenn man nur mit besserem Materiale ausgerüstet wäre. Immerhin hat v. Schleinitz es für möglich gehalten, die Schwankungen des Polareises in Beziehung zu setzen zu der Frequenz der Sonnenflecke [41]; vier unter den sechs Jahrgängen, in welchen die über die Grenze des Packeises vordringenden Schiffer ungewöhnlich starken Packeismassen begegneten, decken sich allerdings mit Perioden der Sonnenfleckenmaxima. Im neunten Kapitel werden wir erfahren, dass auch der Vorstoss und Rückgang des Gletschereises von der historischen Klimatologie als Untersuchungsmittel verwendet worden ist, doch wirken auf diese Bewegungen fremdartige Elemente in gar zu grosser Menge ein.

§. 8. **Der Wald als klimatischer Faktor.** Die Erkenntniss, dass die Beschaffenheit des Klima's einer Gegend von der geringeren oder grösseren Arealgrösse des mit Waldung bedeckten Terrain's, sowie, wenn auch in minderem Maasse, von der Art der Bewaldung abhängig sei, stammt nicht erst aus unseren Tagen, mag sie auch früher mehr eine instinktive**), denn eine eigentlich wissenschaftliche gewesen sein. Hellmann nennt [43] als ersten deutschen Schriftsteller über die Art obiger Abhängigkeit einen gewissen Th. E. Lange [44], der den klimatischen Einfluss der Ausrodungen gewürdigt habe. Ihm schliesst sich eine stattliche Reihe von Physikern und Forstmännern aller Nationen an, doch war es wiederum die deutsche Wissenschaft, welche uns ein in seiner Art klassisches und zunächst abschliessendes Handbuch der forstlichen Klimatologie gab, nämlich dasjenige von Ebermayer [45], welches sich auf die von dem musterhaft organisirten Netze der bayrischen Forststationen gelieferten Daten stützte***). Es leuchtet ein,

*) Wenn sich die Erneuerung und Vernichtung der Eishülle im Laufe eines einzigen Winters mehrmals vollzieht, so hat der die Erscheinung Kontrolirende sich blos an das erste Gefrieren und an das allerletzte Aufthauen zu halten. Man kann annehmen, dass eine solche Wiederholung für die Binnengewässer der baltischen und friesischen Niederung die Regel bildet.

**) Aus einer alten Salzburgischen Forstpolizei-Ordnung von 1524 geht, wie E. Richter zeigt [42], ganz unzweideutig hervor, dass man sich der Wichtigkeit guter Waldkultur klar bewusst war und eine rationelle Schonung der Wälder anstrebte.

***) Lorenz v. Liburnau schlägt in seinem Organisationsplan für die österreichischen Forststationen zweierlei Arten dieser letzteren vor [46]: Parallelstationen, welche resp. im Walde und von diesem möglichst weit entfernt liegen sollen, und Radialstationen im Walde selbst, deren Geschäft es

dass die Einwirkung der Wälder auf die Luftbewegungen nur lokal sein wird, obwohl immerhin für manche Provinzen auch diese Art der Einwirkung sich sehr bemerkbar machen kann, wie diess von Künzer [47] für den Zug der westpreussischen Gewitter dargethan worden ist. Im Grossen und Ganzen sind es aber doch nur die Verhältnisse der Temperatur, der Feuchtigkeit und allenfalls noch der Luftzusammensetzung, welche ernstlich in Betracht kommen können; wir werden von denselben im Einzelnen sprechen und uns dann generelle Gesichtspunkte betreffs der klimatologischen Bedeutung des Waldes zu verschaffen suchen.

a) **Temperatur und Wald.** Die Wärmekapazität des Waldes ist, ähnlich wie bei'm Wasser, eine verhältnissmässig grosse, und es vollzieht sich daher der Akt der Insolations-Erwärmung und nachherigen Wiederausstrahlung weniger schnell, als bei irgend einer anderen Bedeckung des Bodens *). Rechnet man noch die an den Blättern vor sich gehende Verdunstung hinzu, so ist klar, dass die Waldluft am Tage kühler sein muss als die Luft im Freien, sie dringt mithin unten am Boden in den durch das Aufsteigen der äusseren, wärmeren Luft erzeugten Hohlraum ein, während die aufsteigenden Luftmassen über dem Walde wieder niederfliessen. Bei Nacht ist der Kreislauf der umgekehrte. Die Schwankungen der Temperatur können nach dem Allem nicht so intensiv im Walde ausfallen, wie ausserhalb. Nach Fautrat [49], der besonders oberhalb der Baumkronen Wärmemessungen anzustellen empfiehlt, ist die abkühlende Wirkung des Waldes am stärksten hervortretend in der heissen Jahreszeit; 1,20°, 1,75°, 1,95°, 1,53° waren in Fautrat's ein Jahr umfassender Beobachtungsreihe die den Monaten Mai, Juni, Juli, August entsprechenden Temperaturdepressionen. Speziell über den Baumgipfeln ist die Temperatur etwas höher im Frühling.

b) **Luftfeuchtigkeit und Wald.** Die Neigung zu Niederschlägen ist grösser im Waldgebiete, als im freien Lande, besonders im Sommer und Herbst. Schon ein einzelner Baum kann sich, wie Ebermayer nach Graham anführt, sehr gut dazu eignen, die Feuchtigkeit des Nebels in sich aufzunehmen; ein allein stehender Baum auf den Canarien war dafür weit und breit bekannt, dass er der Seebrise ihre

---

sein soll, festzustellen, wie sich trockene Luftströmungen beim Eintreten in den Wald, bei'm Passiren desselben und bei'm Wiederaustreten verhalten.

*) Ein Moment, welches bei der Beschleunigung oder Verlangsamung dieses Aktes wesentlich bestimmend mitwirkt, ist lange vernachlässigt worden, bis die Aufmerksamkeit Wollny's darauf gelenkt wurde. Auch die forstliche Klimatologie wird eine gewisse Berücksichtigung dieses Momentes in ihr Programm aufzunehmen haben. Wir meinen die Färbung des bestrahlten Bodens, deren Einfluss Wollny [48] durch die nachstehenden sechs Sätze fixiren zu können glaubt: I. Während der warmen Jahreszeit ist lufttrockener Boden bei dunkel gefärbter Oberfläche durchschnittlich wärmer, als bei hell gefärbter; II. die täglichen Temperaturschwankungen sind unter dunkler Färbung grösser, als unter heller; III. der in I erwähnte Unterschied ist am grössten und kleinsten, wenn resp. die tägliche Bodentemperatur ihr Maximum und Minimum erreicht; IV. die nächtliche Wärmeabnahme erfolgt auf dunkel gefärbtem Boden rascher, als auf hell gefärbtem; V. die Temperaturdifferenzen zwischen dunklem und hellem Boden verschwinden da, wo die Insolation nicht mehr durchzudringen vermag; VI. die Oberflächenfarbe hat auf die Erwärmung nur unter sonst gleich bleibenden Verhältnissen der Mineralbestandtheile und des Humus den angegebenen Einfluss.

Feuchtigkeit entzöge, und dass diese Volksmeinung das Richtige traf, ergab sich nach dem Umhauen dieses Baumes. In wie viel höherem Grade muss demgemäss ein Komplex von Bäumen solche Fähigkeiten bethätigen! Die besten Kondensatoren unter den Bäumen sind die Fichten *). Um zu finden, wie sich metrisch der Einfluss des Forstes auf den Regenfall gestalte, stellte Ebermayer die Regenmengen jedes Monates für die drei bayrischen Orte Aschaffenburg, Rohrbrunn und Duschlberg zusammen [51], welche resp. in ziemlich baumloser Ebene, im waldigen Spessart und in dem noch zum Theile mit Urwald bedeckten Böhmerwalde gelegen sind. Die Tabelle zeigt, was er fand:

Monat	Aschaffenburg	Rohrbrunn	Duschlberg
	Regenhöhe in mm	Regenhöhe in mm	Regenhöhe in mm
Januar	36,96	70,94	84,44
Februar	42,26	99,61	131,94
März	43,50	87,47	123,50
April	37,29	53,86	79,03
Mai	55,17	81,41	81,30
Juni	65.51	108,27	101.39
Juli	75,72	85,54	110.14
August	65,38	79,56	105.49
September	52,64	85.20	84,75
Oktober	52,35	76,38	94,14
November	67,56	113,16	125,82
Dezember	61,21	111,31	104,94
Summa	655,55	1052,71	1226,88

Diese Tabelle redet zu uns eine nicht misszuverstehende Sprache. Nimmt man noch hinzu, dass für die Seehöhen h_a, h_r, h_d der drei Orte die Relation $h_d > h_r > h_a$ besteht, so kann man der Zusammenstellung Folgendes entnehmen. Für beide Waldgebiete ist die niedrige Temperatur in den Frühlingsmonaten charakteristisch, welche auf einmal einen starken Rückgang der Regenmenge herbeiführt. Die Waldgebiete werden durch Regen in weit höherem Maasse betroffen, als die waldlosen Gebiete; auch die grössere Erhebung eines Waldterritoriums ist dem Regenfalle günstig. Es stimmt diess mit Hann's Wahrnehmung, dass in den höheren Lagen der Mittelgebirge besonders die winterlichen Niederschläge sich steigern; insbesondere sind beträchtliche Schneefälle für das Winterklima der Mittelgebirge bezeichnend. — Der Wald vermehrt jedoch nicht nur die Regenmenge, sondern er bewirkt auch häufigere Niederschläge. Von dem herabgeträufelten Regenwasser dringt ein Theil in den Boden ein, um die Quellen zu speisen und von den Pflanzenwurzeln endosmotisch aufge-

*) Es ist dieser für die forstliche Statik nicht ganz unwichtige Umstand seit Fautrat's Untersuchungen [50] genau bekannt. Die Nadeln halten hiernach auf ihren Wipfeln mehr denn 50 % des sich über sie ergiessenden Wassers zurück, die Blätter höchstens 42 %. Fautrat meint, genaue Beobachtungen müssten zeigen, dass die Wasserdampfhülle um einen Nadelholzwald herum sich deutlicher abgrenze, als die einen Laubwald umgebende.

sogen zu werden*), ein weiterer Theil fliesst direkt in die Bäche und Flüsse ab, wieder ein Theil aber, und zwar ein recht erheblicher, verdunstet. Nach Ebermayer ist die Verdunstung im Walde eine etwa $2\frac{1}{2}$ bis 3 mal so geringe, als ausserhalb, während Clavé [53] sie 5 mal so klein annimmt. Genaue Versuche über die Verdunstung der Bäume besitzt man von Fr. Pfaff [54]**). Ebermayer's Schätzung zufolge vermindert der Wald allein ohne Streudecke den normalen Verdunstungsbetrag um 62 %, die Streudecke für sich allein um 22 %, beide in ihrer Vereinigung also um 84 %.

c) **Luftbestandtheile und Wald.** Was man über diese Beziehungen weiss, verdankt man Ebermayer [55], welcher den botanischen Garten der Aschaffenburger Forstlehranstalt und das Spessart-Revier Hain als zum Vergleiche geschickte Versuchslokalitäten wählte. Da ergaben sich denn diese vier Thesen: I. Die Waldluft enthält im Sommer fast noch einmal soviel Kohlensäure, als die freie Luft; II. bewaldeter Boden ist im Sommer weit ärmer an Kohlensäure, als unbebauter; III. mit Erhöhung der Temperatur nimmt der Kohlensäuregehalt in letzterem schneller zu, als im Waldboden; IV. die Bewegung der Kohlensäure ist eine sehr langsame. Dass die Kohlensäure auch in der freien Luft des Waldes in hohem Bruchtheile vertreten ist, ebenso, wie in dem dort entspringenden Quellwasser, ergiebt sich schon aus dem Humusreichthum des Waldbodens. Wie günstig ferner der Forst auf die Ozonbildung einwirkt, sahen wir schon in §. 2 des ersten Kapitels dieser Abtheilung.

Getreu unserem bisher stets beobachteten Grundsatze, die Resultate unserer Betrachtungen in kurze, schlagende Memorialsätze zusammenzudrängen, reproduciren wir van Bebber's [56] das Wesentliche der Forstklimatologie in nuce enthaltende Thesen. Es sind deren sechzehn***): I. Durch den Wald werden die Extreme der Temperatur abgestumpft, ohne dass die mittlere Wärme eine merkliche Aenderung erlitte; II. Die stets feuchtere Waldluft

---

*) Alle Wüstenbäume besitzen die Fähigkeit, lange auf die direkte Wasserzufuhr verzichten zu können, ja es giebt unter ihnen manche, die sich mit der indirekt der Luft entzogenen Feuchtigkeit begnügen. Rohlfs hat [52] besonders bei Tamarinden konstatirt, dass deren kurze Wurzeln unmöglich das tief liegende Grundwasser erreichen können. Da nun dort blos alle drei bis fünf Jahre einmal Regen fällt, so liegt allein der atmosphärischen Feuchtigkeit die Erhaltung dieser Bäume ob. Zur Bekräftigung verweist Rohlfs auf die sogenannten Regenbäume der Tropen, welche, z. B. in Peru, so kräftig als Kondensatoren wirken, dass durch das aus ihren Zweigen träufelnde Wasser der Untergrund in einen förmlichen Sumpf verwandelt wird.

**) Bei dieser Versuchsreihe ward die Anzahl der Blätter durch Taxation, deren Durchschnittsgrösse durch ein planimetrisches Verfahren ermittelt. Es ergab sich, dass die für die Untersuchung verwendete Eiche 700 000 Blätter von je 2325 Quadratmillimeter Inhalt besass, und dieser Baum gab vom 18. Mai bis zum 25. Oktober 120 062 Kilogramm Wasser durch Verdunstung ab.

***) In Lorenz v. Liburnau's erwähntem Programm werden zu den älteren noch neue Probleme hinzugefügt. Man soll untersuchen, ob die Baumtemperatur auch durch nichtperiodische Einflüsse, wie etwa fallenden Regen, sich stark modificirt, unter welchen Umständen die Regendifferenz zwischen Wald und Freiland eine besonders grosse wird, ob die niedrige Baumtemperatur in Verbindung mit vorüberziehenden feuchten Luftströmen von sich aus Regen erzeugen kann, welche Wasserquantitäten der Waldboden unter verschiedenen Umständen zurückbehält, u. s. w.

ist dadurch bedingt, dass der Wald zur Vermehrung und noch mehr zur Konservirung der Feuchtigkeit beiträgt; III. Die Disposition zu Niederschlägen, und mit ihr die Regenwahrscheinlichkeit, wird durch den Wald erhöht; IV. Die Regenmenge wird vermehrt, freilich weit erheblicher im Waldgebirge, als in der waldigen Ebene; V. Die Verdunstungsgrösse wird durch die vereinte Wirkung von Wald und Streudecke auf einen äusserst geringen Betrag herabgebracht; VI. Die Streudecke setzt dem abfliessenden Wasser auch ein mechanisches Hinderniss entgegen; VII. Der Wald schützt und erhält den Quellenvorrath einer Gegend; VIII. Das Grundwasser sättigt die oberen Erdschichten und speist die Quellen; IX. Der Wald behütet vor der Abschwemmung fruchtbarer Erde und vor der Entstehung von Wildbächen; X. Durch ausgedehnte Entwaldung machen sich die Extreme wieder schroffer fühlbar; XI. Entwaldung bringt mit sich Trockenheit der Luft und Sommerdürre; XII. Die Häufigkeit der Niederschläge, zumal der sommerlichen, nimmt mit der Waldausrodung ab; XIII. Entwaldung verringert Bodenfeuchtigkeit und Quellenreichthum; XIV. Zu grosse Streunutzung befördert allzurasche Verdunstung; XV. Gleichfalls wird durch sie, und noch mehr durch übertriebene Holznutzung, die Abschwemmung fruchtbaren Erdreiches befördert; XVI. Auch der Wasserstand der Flüsse neigt bei fortschreitender Walddevastation excessiven Schwankungen zu.

Mag diese gedrängte Uebersicht dazu dienen, darzuthun, wie enge die Theorie einer vernünftigen Waldpflege sich mit der Physik der Luft und des Bodens berührt. Gewisse nahe liegende Fragen, die sich an die Verschlechterung des Klima's durch Waldverwüstung anknüpfen liessen, können wir hier nur streifen, da sie doch noch mehr als in dieses Kapitel in die von den säkulären Veränderungen des Klima's und von den Ueberschwemmungen handelnden Kapitel gehören. Zu These XVI sei bemerkt, dass deren Bedeutung zuerst von Boussingault betont wurde [57], der an abflusslosen Landseen, z. B. am See von Tacarigua in Venezuela, das Sinken des Wasserspiegels bemerkte und dafür zuerst unterirdische Kanäle verantwortlich machen wollte, sich aber dann von Humboldt auf das mit der fortschreitenden Entwaldung zunehmende Versiegen der Zuflussbäche als auf die eigentliche Ursache hinweisen liess. Systematischer behandelte die Sache Moreau de Jonnes [58], der namentlich für die heisseren Ländereien, in welchen keine Torfmoorbildung statthat, eine Abnahme des Wasservorrathes unter dem Einflusse progressiver Waldentblössung behauptete. Auf manchen Inseln, wie z. B. auf St. Helena und Rodriquez, hat nach Hahn [59] die Masseneinführung von Ziegen zunächst grossartige Zerstörungen der vorhandenen Anpflanzungen und folgeweise eine Veränderung des klimatischen, faunistischen und floristischen Charakters jener Eilande zur Folge gehabt. Für die Regierungen aller Kulturländer erhebt sich solchergestalt manch' ernste Frage, deren Prüfung nicht umgangen werden kann*), und in der That sehen wir jetzt schon viele Staaten

*) Energisch gegen die Sünden der Vorzeit hat sich u. a. die schweizerische Forstverwaltung gewendet. Landolt erstattet [60] einen interessanten Bericht über deren Maassnahmen; es gilt, den forstlichen „Raubbau“ einzudämmen, die Wiederanpflanzung von Blössen und Schlägen nachhaltig zu betreiben, die ungeregelte Ausnutzung der Waldrente gesetzlich einzuschränken und die unrichtige

rückhaltslos an diese Prüfung herantreten. Es muss, wie der Italiener Denza den springenden Punkt heraushebt [63], verhindert werden, dass Perioden der Wolkenbrüche mit Perioden der Dürre abwechseln.

Freilich kann nicht in Abrede gestellt werden, dass das Feuer einer gerechten Begeisterung manchmal auch über das Ziel hinausschiessen und auf die Entwaldung Erscheinungen zurückführen lässt, die in Wahrheit damit nichts zu thun haben. Ernüchternd wirkt solchen Uebertreibungen gegenüber auch heute noch die Abhandlung Pfeil's [64], die viele gute Bemerkungen bietet, mag sie auch vielleicht selbst wieder gar zu sehr von Skepticismus durchdrungen sein.

§. 9. **Der Unterschied zwischen solarem und physischem Klima.** Dass das Klima zuallererst von der Wärme abhängt, wissen wir; nicht minder ist bekannt, dass die Wärmeverhältnisse eines jeden Ortes eine Funktion der Sonnenwärme sind, wenn auch noch gar manche andere Einflüsse mitspielen. Soweit das Klima nur von der Quantität der Sonnenstrahlung abhängt, welche einem Orte seiner geographischen Breite nach zukommt, wird es das solare oder mathematische genannt [65]. Lediglich dieses hatte Parmenides bei seiner bekannten Eintheilung der Erde in fünf Zonen oder Klimate im Auge, und auch die späteren Geographen des Alterthums hielten sich an diese rein formale Bestimmung, wenn sie festsetzten, dass das Klima eines Erdortes nach der Dauer des längsten Tages sich richten solle.

Dieses mathematische Klima bildet denn auch heute noch die Grundlage für klimatologische Forschung, weil es unter allen Umständen als eine erste Annäherung an das physische oder reale Klima gelten muss. Dieses letztere ist das durch die Ungleichförmigkeit der Erdoberfläche modificirte solare Klima. Wäre die Erde eine glatte oder auch eine mit gleichmässig tiefem Meere bedeckte Kugel, so wäre der soeben fixirte Unterschied nicht vorhanden; allein dem ist bekanntlich nicht so. Die ungleiche Austheilung von Land und Wasser und die nicht minder ungleiche Erhebung des ersteren über das letztere sind die Ursachen, welche das solare Klima in einer oft ungeahnten Weise beeinträchtigen [66].

§. 10. **Das solare Klima.** Wenn die Sonne zur Aequinoktialzeit senkrecht über dem Aequator steht, so wird ein an dem letzteren befindliches Element der Kugelfläche, welches man als ein ebenes betrachten darf, von der vollen Wucht der Sonnenstrahlen getroffen,

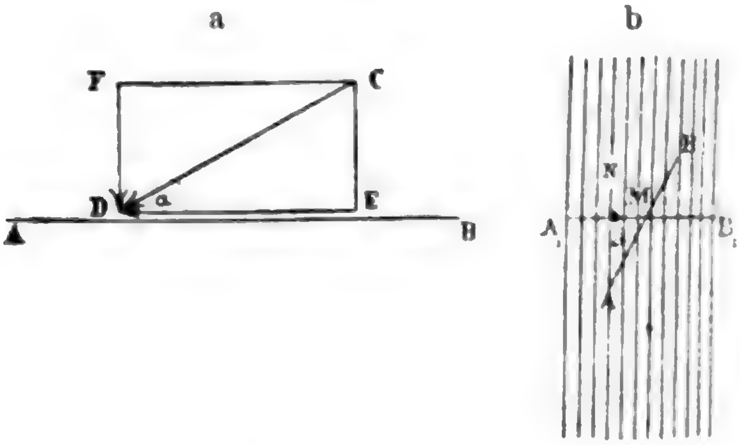
---

Abgrenzung von Wald und Brache zu reguliren. Entsetzlich gehaust wurde nach Angerer [61] in Tirol, wo namentlich das — einer falschen Popularität zuliebe auch von den gesetzgebenden Faktoren viel zu sehr geduldete — Verstümmeln der Bäume zum Zwecke der Streugewinnung sich als unheilvoll erwies; die Entholzung des fast immer inundirten Etschthales datirt schon von der Römerzeit. Toldt stellt den österreichischen Gebirgsländern folgendes Prognostikon [62]: „Zwei Loose sind es, welche die Zukunft für unsere Alpenländer im Schoosse birgt. Das eine heisst: Fortdauer des gegenwärtigen Zustandes, zunehmende Verwüstung und schliessliche Ausrottung der Wälder, Verödung der Berge und Thäler, Noth, Elend und Entvölkerung. Das andere: Schonung und Wiederherstellung der Wälder, wirthschaftliche Ausbildung der Bevölkerung, Entwickelung der vorhandenen Einnahmequellen, Förderung der Gesittung und des Wohlstandes."

während offenbar gleichzeitig ein an einem der Pole gelegenes Flächenelement gar keine Wärme empfängt. Die Erwärmungsgrösse (oder, was vorläufig dasselbe ist, die Insolationsgrösse) nimmt also vom Aequator gegen die Pole hin ab, und zwar gilt für diese Abnahme folgendes Gesetz: Die Intensität der Bestrahlung, welche eine Ebene durch ein Parallelstrahlenbündel erfährt, ist proportional dem Sinus des Winkels, welchen jene Parallelen mit der Ebene einschliessen. Wir erhärten die Wahrheit dieses Theoremes durch zwei verschiedene Beweise.

a) **Thermostatischer Beweis.** Die Intensität, mit welcher einer der Wärmestrahlen auf die Ebene A B wirkt, sei durch die Kraft C D (Fig. 58a) nach Grösse und Richtung ausgedrückt. Wir zerlegen

Fig. 58.



diese Kraft vermittelst des Parallelogrammes C E D F in die beiden Komponenten D E und D F, welch' erstere mit der Ebene selbst zusammenfällt und daher nicht berücksichtigt wird. Uebrig geblieben ist demnach nur die Kraft $DF = CE = CD \,.\, \sin\alpha$, wenn der Einfallswinkel C D E mit α bezeichnet wird. Was aber für den Einzelstrahl, das gilt für jeden anderen und damit für das ganze Bündel.

b) **Geometrischer Beweis.** Es sei A B diessmal (Fig. 58b) ein begrenztes Flächenstück, welches in den Gang des Parallelstrahlenbündels eingeschaltet werde; und zwar sei α wieder der Einfallswinkel. A_1B_1 sei ein an Grösse gleiches Flächenstück, welches durch Drehung um den Punkt M mit A B zur Deckung gebracht werden könnte, selbst aber von den Parallelstrahlen senkrecht getroffen wird. Eine aus dem Endpunkt A auf A_1B_1 gefällte Normale habe ihren Fusspunkt in N. Wenn wir nun annehmen, dass der Bestrahlungsbetrag der Anzahl der auf die Fläche fallenden Strahlen proportional ist, wenn wir ferner diese Beträge für A B und A_1B_1 resp. mit J und J_1 bezeichnen, so gelten offenbar die Proportionen

$$J : J_1 = MN : MA = MA \,.\, \sin\alpha : MA = \sin\alpha : 1.$$

Auch diessmal erhält man also das gleiche Gesetz der Abhängigkeit.

Dasselbe bildete von je den Ausgangspunkt für alle Bestrebungen, die Insolation oder solare Erwärmung eines Erdortes als eine Funktion seiner Polhöhe darzustellen. Halley und Lambert haben derartige Formeln zu einer Zeit gegeben, da die Analysis sich noch nicht in ihrem gegenwärtigen Entwickelungszustande befand: seitdem sind Meech [67], Röllinger [68], Schlemüller [69] und

ganz besonders Wiener [70] für die Lösung dieser Aufgabe thätig gewesen. Es kann in einem Buche, wie diesem, natürlich nur darauf ankommen, einen ganz allgemeinen Begriff von der Methode zu geben, welche diesen Mathematikern zu ihren Ergebnissen verholfen hat.

Wir verstehen, wie es die sphärische Astronomie immer macht, unter h die Höhe des Sonnenmittelpunktes, unter d dessen Deklination, unter t seinen Stundenwinkel, unter φ die Polhöhe; diese vier Grössen sind durch die Gleichung $\sin h = \sin \varphi \sin d + \cos \varphi \cos d \cos t$ mit einander verbunden, welche aus dem Kugeldreieck Zenit-Pol-Sonnenmittelpunkt durch direkte Anwendung des Cosinussatzes folgt. Die Grösse eines sphärischen Flächenelementes ist gegeben durch $\cos h \, dh \, dt$, und somit die Tagesbestrahlung eines Punktes gleich

$$w = 2 \, . \, \text{Konst.} \int_0^{t_1} \int_0^h \cos h \, dh \, dt = 2 \, . \, \text{Konst.} \int_0^{t_1} \sin h \, dt$$

$$= 2 \, . \, \text{Konst.} \int_0^{t_1} (\sin \varphi \sin d + \cos \varphi \cos d \cos t) \, dt.$$

t_1 bedeutet hier den dem Untergangspunkte der Sonne entsprechenden Stundenwinkel oder den halben Tagesbogen. Führt man die letzte Integration aus, so wird *)

$$w = 2 \, . \, \text{Konst.} \sin \varphi \sin d \, (t_1 - 0) + 2 \, . \, \text{Konst.} \cos \varphi \cos d \, (\sin t_1 - \sin 0),$$
$$w = 2 \, . \, \text{Konst.} (\sin \varphi \sin d \, . \, t_1 + \cos \varphi \cos d \, . \, \sin t_1).$$

Wenn die Sonne für einen polaren Ort cirkumpolar geworden ist, so ist $\sin t_1 = \sin \pi = 0$, somit $w = 2\pi \, . \, \text{Konst.} \sin \varphi \sin d$, und am Pol ist $w = 2\pi \, . \, \text{Konst.} \sin d$. Durch weitere Integrationen müssen diese Ausdrücke dann noch über grössere Flächen- und Zeiträume ausgedehnt werden. Wir setzen die Lehre von den Jahreszeiten als aus den Anfangsgründen der mathematischen Geographie bekannt voraus; die Sonne und die Erde befinden sich zur Zeit des kürzesten Tages in ihrer kleinsten, zur Zeit des längsten Tages in ihrer grössten Ent-

*) Hann formt [71] diesen Ausdruck noch etwas um und bestimmt zugleich die Konstante. Aus unserer Gleichung $\sin h = \sin \varphi \sin d + \cos \varphi \cos d \cos t$ ergiebt sich, wenn wir t_1 statt t, also 0 statt h setzen, zunächst $\cos \varphi \cos d \cos t_1 = - \sin \varphi \sin d$, und hieraus wiederum $\cos t_1 = - \operatorname{tang} \varphi \operatorname{tang} d$. Wir haben also

$$w = 2 \, . \, \text{Konst.} \sin \varphi \sin d \left(t_1 + \frac{\cos \varphi \cos d}{\sin \varphi \sin d} \sin t_1 \right)$$
$$= 2 \, . \, \text{Konst.} \sin \varphi \sin d \, (t_1 - \operatorname{tang} t_1).$$

Zur numerischen Berechnung schickt sich diese Formel besser, als die frühere. Nimmt man ferner mit Violle an, dass die dem Aequator an einem Aequinoktialtage zugesandte Wärmemenge sich auf 1155,5 Kalorien belaufe, so kann man

$$W = 1155{,}5 \, . \left(\frac{\delta}{965} \right)^2 . \sin \varphi \sin d \, (t_1 - \operatorname{tang} t_1)$$

setzen; W bedeutet jetzt in bestimmtem Maasse dasselbe, was wir früher durch w bezeichneten. δ ist ein für die einzelnen Tage des Jahres zwischen den Grenzwerthen 978 (Wintersonnenwende) und 946 (Sommersonnenwende) schwankender Werth. Diess bezieht sich zunächst auf die nördliche Hemisphäre, für die südliche sind die Werthe umzukehren. Die jährliche Wärmemenge, welche hiernach der Aequator erhält, beträgt 1146 . 365.25 = 401 400 Wärmeeinheiten (mit Violle's Sonnenkonstante); die jährliche Wärmemenge, welche jener Hauptkreis empfängt, wäre im Stande, eine Eisschicht von 5478 Kubikmeter zu schmelzen, wenn sie nicht durch Absorption einigermassen vermindert würde.

fernung, allein trotzdem bedingt die Stellung der Erdaxe gegen die einfallenden (und als parallel anzusehenden) Strahlen der Sonne, dass die Nordhalbkugel ihren Winter hat, während sie sich in verhältnissmässig geringerer Entfernung vom Centralkörper befindet. Röllinger berechnet [72], dass sich am Tage des Wintersolstitiums, eines Aequinoktiums und des Sommersolstitiums die Wärmemittel der heissen Zone wie

0,2460237 : 0,3096926 : 0,3252405,

diejenigen der gemässigten Zone wie

0,1010123 : 0,2304719 : 0,3630056,

diejenigen der kalten Zone wie

0,0000000 : 0,0851898 : 0,3824718

verhalten. Die mittlere Temperatur T eines Parallelkreises trigonometrisch durch die Breite φ darzustellen, ist schon öfters versucht worden, wenn auch nicht immer mit Glück. Brewster setzt einfach $T = c \cos \varphi$, Lamont setzt $T = a + b \cos \varphi$, Atkinson $T = -n + m \cos^2 \varphi$, wo a, b, c, m, n Erfahrungskonstante vorstellen. Nach Hann [73] ist folgende Formel von Haughton brauchbar:

$$T = C \cos \varphi \,(1 + 0{,}04366 \operatorname{tang}^2 \varphi + 0{,}00049 \operatorname{tang}^4 \varphi),$$

worin C die jährlich den Aequator treffende Strahlungssumme bedeutet. Es sind diess natürlich nicht eigentlich die Temperaturen, sondern vielmehr blos die Strahlungsintensitäten. Schlemüller findet (a. a. O.) für $\varphi \overline{\overline{<}} 90^0 - \varepsilon$ (ε Ekliptikschiefe) eine Doppelreihe, welche T gleichmässig in φ und ε ausdrückt; seine Formel

$$T = \text{Konst.} \cos \varphi \Bigg[\Big[1 - \left(\tfrac{1}{2}\right)^2 . \sin^2 \varepsilon - \left(\tfrac{1 . 3}{2 . 4}\right)^2 . \frac{\sin^4 \varepsilon}{3} - \ldots\Big]$$
$$+ \frac{\operatorname{tang}^2 \varphi}{1}\Big[\left(\tfrac{1}{2}\right)^2 \frac{\sin^2 \varepsilon}{1} + \left(\tfrac{1 . 3}{2 . 4}\right)^2 . \frac{2}{3} . \frac{\sin^4 \varepsilon}{3} + \ldots\Big]$$
$$+ \frac{\operatorname{tang}^4 \varphi}{3}\Big[\left(\tfrac{1 . 3}{2 . 4}\right)^2 . \frac{\sin^4 \varepsilon}{3} + \left(\tfrac{1 . 3 . 5}{2 . 4 . 6}\right)^2 . \frac{3}{5} . \frac{\sin^6 \varepsilon}{3} + \ldots\Big] + \ldots\Bigg]$$

ist ersichtlich eine Erweiterung der Haughton'schen, und ihr Autor giebt an, dass er, bis zum Biquadrat der Tangente fortschreitend, Werthe erhielt, welche von den Dove'schen Mitteln nur unerheblich abweichen.

Obwohl die Lösung der Aufgabe, die Jahressumme der Bestrahlung zu bestimmen, nicht durch geschlossene Formeln zu erbringen ist, so hat doch Meech (a. a. O.) eine graphische Näherungslösung dafür gegeben. Die mittlere Intensität der Bestrahlung der ganzen Tropenzone, der gemässigten Zone und der Polarzone verhalten sich nach den Angaben jenes amerikanischen Mathematikers wie 356,2 : 276,4 : 166,0, die Gesammtwärmemenge, welche der Erde von der Sonne zukommt, kann gleich $1676 \,.\, 10^{21}$ Kalorien gesetzt werden [73], wobei nochmals daran erinnert sein möge, dass eine Kalorie jenem Wärmequantum entspricht, durch dessen Zuführung die Kubikeinheit chemisch reinen Wassers im Zustande grösster Dichte eine um einen Grad Celsius erhöhte Temperatur erlangt.

Nun ist aber freilich bis jetzt der absorbirende Einfluss der Erdatmosphäre noch nicht mit in Anschlag gebracht worden, und doch ist dieser Einfluss kein unbedeutender. Offenbar absorbirt die Lufthülle um so mehr Wärmestrahlen, je grösser der von der Refraktionskurve

(Kap. III, §. 2) innerhalb der Luft zurückgelegte Wegtheil ist, und die Intensität der Strahlung nimmt mit wachsender Zenitdistanz der Sonne rasch ab. Nennt man diesen Winkel z, ferner J die Bestrahlungsintensität an der oberen Grenze des Luftsphäroides, J' die wirkliche Bestrahlungsintensität und p den Absorptionskoefficienten*), so ist annähernd [74]

$$J' = J \cdot p^{\sec z}.$$

Es ist nach Crova's Messungen anzunehmen [75], dass unter mittleren Breiten selbst bei ganz heiterem Himmel die Hälfte der täglichen Wärmestrahlung bei'm Durchgang durch die Atmosphäre verloren geht. Nach Langley nimmt ferner die Absorption, sowohl in den sichtbaren, wie in den unsichtbaren Theilen des Spektrums zu, während die Wellenlänge abnimmt. Die Wolkendecke erhöht diesen Betrag natürlich entsprechend.

Bunsen und Roscoe haben uns in den Stand gesetzt, auch die Abhängigkeit der chemischen Intensität des Sonnenlichtes als eine mit der Höhe der Sonne variirende zu erkennen, während alles Bisherige sich nur auf die thermische Intensität bezog [76]. Sie machten die wichtige Bemerkung, dass die photochemischen ebenso wie die geometrischen Klimagürtel in ihrer Vertheilung ein weit einfacheres Gesetz befolgen, als die thermischen Zonen. Die folgende Tabelle gewährt uns einige Anhaltspunkte.

Ort	Breite	Chemische Intensität		
		der Sonne	des Himmels	Total
Pol	90°	0	20	20
Melville-Insel	75°	12	106	118
Reykiavik (Island) . . .	64°	60	150	210
St. Petersburg	60°	89	164	253
Manchester	53°	145	182	327
Heidelberg	49°	182	191	373
Neapel	41°	266	206	472
Cairo	30°	364	217	581
Bombay	19°	438	223	661
Ceylon	10°	475	226	701
Borneo	0°	489	227	716

Wir wollen aber nicht unterlassen, zu bemerken, dass, wie in Kap. III §. 10 erwähnt ist, H. Vogel, auf Grund seiner photographischen Erfahrungen, gewichtige Bedenken gegen Bunsen geltend gemacht hat**).

*) Der Absorptionskoefficient, dessen optisches Seitenstück uns schon in §. 5 des dritten Kapitels begegnet war, ist ein Bruch, dessen Nenner die Anzahl sämmtlicher Wärmestrahlen, dessen Zähler die der wirklich an ihr Ziel gelangten Wärmestrahlen angiebt.

**) Die funktionelle Beziehung zwischen Absorptionsgrösse und Wasserdampfspannung in der Atmosphäre wollte Stow ermitteln [76], doch beschränkte er sich zunächst auf die Verzeichnung der diese Beziehung äusserlich darstellenden Kurven und fand so einen Normalbetrag der Spannung. Erhob sich an einem Tage die Spannung über den Normalbetrag, so sank die Strahlung unter ihren Normalbetrag, und umgekehrt.

§. 11. **Land- und Seeklima.** Durch Vergleichung der in der Nähe des Meeres und der an binnenländischen Stationen gezogenen Wärmemittel fand sich [77], dass nördlich vom 30. Breitegrade das Land auf die Temperatur erniedrigend, in dem 30° breiten Aequatorgürtel dagegen erhöhend auf die Temperatur wirkt. Gemeinsam ist dem Landklima unter allen Breiten eine grössere jährliche Wärmeschwankung, wogegen sich das Seeklima durch eine Verminderung der jährlichen Temperaturänderung auszeichnet; das Landklima ist excessiv, das Seeklima limitirt. Durch Ferrel, Forbes und Schoch — die Dissertation [78] dieses leider seitdem der Erdphysik völlig entfremdeten Gelehrten ist viel zu wenig bekannt geworden — sehen wir uns in den Stand gesetzt, den Unterschied zwischen den Temperaturen einer Land- und Wasserhemisphäre scharf zu fixiren. Hann thut diess in folgender Weise [79]. Versteht man unter A, B, C Erfahrungszahlen, unter n jenen aliquoten Theil des unter der Breite φ gelegenen Parallelkreises, der nicht von Wasser eingenommen wird, so kann man mit Forbes die Temperatur t_φ jenes Kreises durch die Relation $t_\varphi = A + B \cos^m \varphi + C n \cos 2\varphi$ setzen, und zwar ergiebt sich mit Hülfe der kleinsten Quadrate

$$t\varphi = -10{,}8^0 + 32{,}9^0 \cos^{5/4} \varphi + 21{,}2 \, n \cos 2\varphi.$$

Dieser Ausdruck erhebt sich durch seine Genauigkeit über die Bedeutung, welche man sonst empirischen Formeln beilegt, und giebt wirklich ein Bild von der Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche. Für die Landhalbkugel ist $n = 1$, für die Wasserhalbkugel $n = 0$ zu setzen; es ist mithin

$$t_\varphi^{(l)} = -10{,}8^0 + 32{,}9^0 \cos^{5/4} \varphi + 21{,}2^0 \cos 2\varphi;$$
$$t_\varphi^{(\omega)} = -10{,}8^0 + 32{,}9^0 \cos^{5/4} \varphi,$$

und es repräsentirt die Differenz $t_\varphi^{(l)} - t_\varphi^{(\omega)} = 21{,}2 \cos 2\varphi$ den Unterschied der Temperatur auf der Land- und Wasserhemisphäre. Am Aequator ist

$$\varphi = 0, \cos 2\varphi = 1, \; t_0^{(l)} - t_0^{(\omega)} = 21{,}2^0.$$

Die hier nur ihrem Wesen nach kurz skizzirten Berechnungsmethoden haben zu einem für die Geophysik sehr wichtigen Resultate geführt. Da die südliche Halbkugel mehr Wasser besitzt, als die nördliche, so betrachtete man es bis in die neueste Zeit herein als unumstössliches Dogma, dass die Südhalbkugel kälter sei, als die Nordhalbkugel, und die Temperaturbeobachtungen schienen, solange sie sich auf näher am Aequator belegene Stationen bezogen, dieser Annahme nicht zu widersprechen. Es ist Hann's Verdienst, hier Wandel geschafft und den Satz bewiesen zu haben [80]: Zwischen 0° und 45° lat. austr. ist die südliche Halbkugel allerdings kälter, dafür aber zwischen 45° und 90° lat. austr. wärmer als die nördliche (vgl. I. Band, S. 100). —

Wie die jährlichen, so treten auch die täglichen Temperaturschwankungen um so bemerkbarer hervor, je weiter man binnenwärts fortschreitet*), und für die Veränderlichkeit des Monatsmittel gilt ein

*) Livingstone berichtet, die Felsen erhitzten sich in manchen Gegenden Südafrika's oft derart, dass sie mit lautem Krachen sprängen, sobald die äusserst intensive Nachtkühle eintritt [81]. In manchen tropischen Binnenländern sind die

Gleiches. Die Luft wird im Inneren eines Landes, wie wir bereits (s. o.) wissen, trockener. Von den durch klimatische Gegensätze hervorgerufenen Luftströmungen und Winden war bereits in der dynamischen Meteorologie die Rede, von dem Einflusse der Meeresströmungen wird erst im IV. Kapitel der nächsten Abtheilung die Rede sein können. Etwas für die Klimatologie Hochwichtiges sind die Temperaturunterschiede der West- und Ostküsten der Kontinente in höheren Breiten [82], auf welche G. Forster und A. v. Humboldt die Augen der Forscher hingelenkt haben [83]. Der uns aus Kap. VI, §. 9 bekannte Gegensatz zwischen Land- und Seewinden reicht vollkommen zur Erklärung dieser Unterschiede aus. An den Ostküsten wehen im Winter trockene und kalte Landwinde, durch welche das Seeklima zurückgedrängt und das Festlandklima bis über die Küste hinaus ausgedehnt wird, während zugleich die Westküste sich des ihr zukommenden Seeklima's auch wirklich zu erfreuen hat. Im Sommer ist das Verhältniss das gerade umgekehrte, die Ostküste von 45° lat. ab hat ein trübes, nasses Küstenklima. Sowohl im Winter wie im Sommer steigen demnach die — in Fig. 59 für den Jahresdurchschnitt dargestellten — Isothermkurven an der Ostseite Asien's und Nordamerika's hoch empor. Jeder See und selbst jeder grössere Fluss wirkt ähnlich, wie das Weltmeer, nur natürlich in Miniaturdimensionen [84]. So bemerkt man auf Winchell's — ohne Ort- und Zeitangabe veröffentlichter — Karte der Isothermen für die grossen Seen, wie die Isothermen daselbst ganz ähnliche Windungen erleiden, wie an den Meeresküsten, und der nämliche Meteorologe versichert [85], dass dem Ostufer des Michigan-See's ganz ebenso wie anderen Ländern des Seeklima's jene Temperaturexcesse, jene Früh- und Spätfröste fehlen, welche für die Unionsstaaten im Uebrigen so charakteristisch sind.

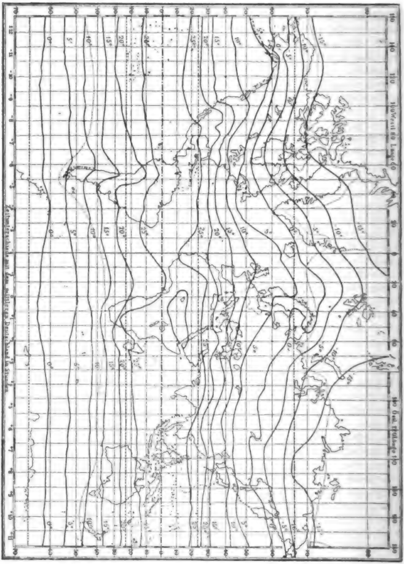
Als das klassische Beispiel für die Wirkung des Seeklima's kann Polynesien, als das klassische Land des Binnenklima's Nordostasien gelten. Finsch berichtet [86] von den Sandwichinseln, die mit der heissen Insel Cuba unter gleichem Breitekreise liegen, dass sie ein äusserst mildes, dem Europäer sympathisches Klima haben, dass die Wärmeschwankungen ganz unmerklich werden, und dass die tropische Hitze Nordamerika's dortselbst zu den ganz unbekannten Dingen gehörte. Ganz entgegengesetzt liegen die Dinge in Sibirien, wo die jährliche Oscillation der Wärme den bislang auf der Erde bekannten Maximalgrad erreicht, und wo der Begriff der mittleren Jahrestemperatur „eine Abstraktion wird, die gar keinen Werth mehr hat und nur noch bei theoretischen Untersuchungen nützlich ist". Der Sommer ist heiss und kurz, kräftig genug, um eine raschlebige Vegetation hervorzuzaubern, die Winterkälte ist grausam, und es sind zu Jakutsk (— 62°) und zu Werohojansk (— 63,2°) die niedrigsten Temperaturen gemessen worden, von denen man überhaupt weiss [87]. Man kann demnach von einem über Sibirien lagernden Maximum der

---

Nächte so kalt, dass man sich durch ein sehr primitives Verfahren das unentbehrliche Eis verschaffen kann. Man gräbt nämlich seichte, kegelförmige Gruben aus, bekleidet deren Wände mit Stroh und giesst auf dieses Wasser, welches bei der energischen Ausstrahlung des Bodens rasch gefriert.

Kälte, einem Kältepol, sprechen. Ueber die Entstehung winterlicher Kältecentren im Winter lässt sich Hann [88] folgendermassen vernehmen: Kältecentrum, Kältepol oder Kälteinsel nennt man

Fig. 59.



Jahres-Isothermen.

ein Territorium von geringem Umkreis, innerhalb dessen die Temperatur überaus tief sinkt. Man nimmt gewöhnlich an, eine solche Insel bilde sich durch Herabsinken höherer, kalter Luftmassen, denn da aufstei-

gende Luft kälter wird, so müsste herabsinkende Luft eine niedrige Temperatur mitbringen. Hann will ein solches spontanes Herabsinken kalter Luft nur als ein ganz lokales Vorkommniss zulassen. Wojeikoff zieht den grösseren oder geringeren Schneefall als erklärendes Moment herbei [89]. Eine tiefe Schneelage wirkt, als schlechter Wärmeleiter, als eine Unterbrechung der sonst zwischen Boden und Luft stets bestehenden Verbindung, bei heiterem Himmel theilt sich also die Kälte des Schnee's der Luft rasch, dem Boden aber nur langsam mit, und es können solchergestalt sehr niedrige Lufttemperaturen zu Stande kommen, während ausserdem im Dezember, wo der Boden sich noch etwas mehr Wärme bewahrt hat, als die Luft, ein kalmirender Ausgleich zu erwarten ist. — Die Theorie von vier stabilen Kältepolen der Erde ist in dieser Form jedenfalls unhaltbar *).

§. 12. **Höhenklima.** „Die zweite Hauptform des tellurisch modificirten solaren Klima's ist das Klima, welches von den Erhebungen der Erdoberfläche über das Meer abhängt" [90]. Der Luftdruck nimmt, wie aus Kap. II bekannt, in so regelmässiger Weise ab, dass Luftdruckmessungen sofort auch als Höhenmessungen verwendet werden können, allein der Klimatologe hat sich um diese Abnahme höchstens insoferne zu kümmern, als daraus gewisse, im zehnten Kapitel zu besprechende Krankheitserscheinungen resultiren. Dass die Intensität der Sonnenstrahlung mit wachsender Höhe zunimmt, folgt aus §. 10, weil die Strahlen bis zu den Berggipfeln einen minder grossen Weg innerhalb der Atmosphäre zurückzulegen haben. Auch die Bodenwärme ist auf Bergen eine hohe [91], doch muss dabei die Art der Exposition der Bergfläche gegen die Sonnenstrahlen — in der Sprache der Weingärtner die Lage — mit berücksichtigt werden. Dass mit der Höhe auch die Lufttemperatur abnimmt, ist bekannt; über das Gesetz dieser Abnahme sind wir, seit Hann und Weilenmann ihre bezüglichen Untersuchungen angestellt haben, einigermassen unterrichtet. Man darf als eine sowohl für tropische wie für aussertropische Gebirge gleichmässig geltende Erfahrungsregel betrachten [92], dass die Wärmeabnahme für je 100 Meter Steigung 0,58° beträgt. Nicht minder, wie der Temperaturbetrag, ändert sich bei vertikaler Erhebung auch die Art der Temperaturschwankung. Aus Beobachtungen, welche man in Rigikulm-Zürich, in Bernhardhospiz-Genf und am Fusse wie auf dem Gipfel des 1915 m hohen Mount-Washington (New-Hampshire) angestellt hat, folgert Hellmann [93], dass die Temperatur-Extreme der täglichen Periode in der Höhe nach Zeit und Intensität zusammenrücken; auf dem amerikanischen Berge betrug die Tagesschwankung im Mai blos 2,43°, während sie unten gleich 6,27° war. Ist diess schon ein klimatischer Vorzug, durch welchen das Höhenklima dem Seeklima angenähert wird, so erwächst den Bergabhängen und Hügelkuppen noch die weitere Begünstigung geringerer nächtlicher Kälte [94].

*) Diese Beispiele sollen uns nicht etwa schon in die deskriptive Klimatologie hineinführen, sondern lediglich dem Zwecke der Erläuterung dienen. Wir behalten uns vor, im Anschluss an Supan's gehaltvolle Arbeiten in §. 2 des nächsten Kapitels des Näheren zu zeigen, wie sich die charakteristischen Merkmale von Land- und Seeklima über die einzelnen Regionen der Erdoberfläche vertheilen.

Mit zunehmender Höhe nimmt ferner der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ab. Bezeichnet e_h die Dampfspannung in der (in Metern ausgedrückten) Meereshöhe h, e_0 also die Spannung am Seespiegel, so ist nach Hann [95]

$$e_h = e_0 \cdot 10^{-\frac{h}{6500}}.$$

Der Exponentialfaktor beweist uns, dass e_h sich sehr rasch verkleinert. Ungleich weniger abhängig von der Höhe erweist sich die relative Feuchtigkeit. Dass die Gebirge als Kondensatoren Häufigkeit und Menge des Regenfalles beeinflussen, ward schon früher hervorgehoben, doch ist natürlich, seemännisch gesprochen, die Leeseite eines Gebirgszuges von der Luvseite desselben gar sehr verschieden [96]. Sehr belehrend sind in dieser Hinsicht Hellmann's am Brocken, dem grossen „Kondensator der norddeutschen Ebene", gesammelte Erfahrungen. Die Menge des Regenfalles steigert sich schon bei der Annäherung an's Gebirge [97]; auch existirt an hohen Gebirgen eine obere Grenze der maximalen Niederschlagsmenge [98]. Ueber die Grenze des Schneefalles werden wir uns später (in Kap. III der achten Abtheilung) zu verbreiten haben.

Eine sehr wichtige klimatische Thätigkeit üben endlich die Gebirge dadurch aus, dass sie als Hemmniss des Luftaustausches zwischen den beiden Abhängen und dadurch für einen dieser letzteren als Windschutz dienen [99]. Ein drastisches Beispiel für diesen Windschutz giebt die sogenannte „Riviera" ab, jedoch selbst die ungarische Ebene wird durch die Karpathen einigermassen vor dem Eindringen kalter nordeuropäischer Winde bewahrt [100]. Im Gegentheile kann dieser Schutz auch zum Nachtheile einer Gegend gereichen, wenn er nämlich die Bildung und Konservirung von Kältezonen fördert, wie es z. B. in Sibirien (s. o.) der Fall ist.

[1] Hellmann, Repertorium der deutschen Meteorologie, Leipzig 1883. Sp. 681. — [2] Ibid. Sp. 166. — [3] Klauprecht, Die Lehre vom Klima in land- und forstwirthschaftlicher Beziehung, Karlsruhe 1840. — [4] Mühry, Allgemeine geographische Meteorologie oder Versuch einer systematischen Darstellung eines Systemes der Erd-Meteoration in ihrer klimatischen Bedeutung, Leipzig und Heidelberg 1860. — [5] Lorenz-Rothe, Lehrbuch der Klimatologie, Wien 1874. — [6] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. — [7] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1854. S. 340. — [8] Hann, Handbuch etc., S. 1 ff. — [9] Köppen, Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet, Meteor. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 215 ff. — [10] Karsten, Meteorologische Beobachtungen aus Pelotas in Südbrasilien, Kiel 1879. — [11] Supan, Physische Erdkunde, Leipzig 1884. S. 129 ff. — [12] Hann, Handbuch etc., S. 16 ff. — [13] Ibid. S. 45. — [14] Ibid. S. 47. — [15] Ibid. S. 52. — [16] Wollny, Eine neue Konstruktion der Bodenthermometer für Tiefen von 0,3 bis 1,8 Meter, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 10. Band. S. 149 ff. — [17] Frölich, Zur Theorie der Erdtemperatur, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 6. Band. S. 129 ff. — [18] Saalschütz, Ueber Wärmeveränderungen in den höheren Erdschichten unter dem Einflusse des nichtperiodischen Temperaturwechsels an der Erdoberfläche, Astron. Nachr., (2) Nr. 56. — [19] Hann, Handbuch etc., S. 22. — [20] Ibid. S. 24 ff. — [21] Wojeikoff, Ueber die direkte Insolation und Strahlung an verschiedenen Orten der Erdoberfläche, Göttingen 1865. S. 48 ff. — [22] Hann, Handbuch etc., S. 31. — [23] Ibid. S. 34. — [24] Ibid. S. 39 ff. — [25] Ibid. S. 100 ff. — [26] Ibid. S. 41. — [27] Ibid. S. 44. — [28] Ihne, Geschichte der pflanzenphänologischen Beob-

achtungen in Europa nebst Verzeichniss der Schriften, in welchen dieselben niedergelegt sind, Giessen 1884. — [29] Köppen, Wärme und Pflanzenwachsthum, Moskau 1880. — [30] Köppen, Die Wärmezonen etc., S. 216 ff. — [31] Linsser, Die periodischen Erscheinungen des Pflanzenlebens in ihrem Verhältnisse zu den Wärmeerscheinungen, St. Petersburg 1867; Untersuchungen über die periodischen Lebenserscheinungen der Pflanzen, ibid. 1869. — [32] v. Oettingen, Phänologie der Dorpater Lignosen, ein Beitrag zur Kritik phänologischer Beobachtungs- und Berechnungsmethoden, Archiv f. Naturkunde Livlands, Dorpat 1879. — [33] H. H. K. Hoffmann, Zur Lehre von den thermischen Konstanten der Vegetation, Botanische Zeitung, 1880. Nr. 27. — [34] Staub, Beitrag zur Lehre von den konstanten Wärmesummen, (Engler's) Jahrb. f. Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie, 3. Band. S. 431 ff. — [35] Rahn, Ueber phänologische Inversionen, 21. Bericht d. oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkunde, S. 113 ff. — [36] Hann, Handbuch etc., S. 53. — [37] Hällström, De tempore regelationis et congelationis aquarum fluminis Kymo, Acta soc. scient. Fenn., Vol. I., S. 387 ff. — [38] Hällström, Specimina mutati currente saeculo temporis, quo glacies fluminum annuae dissolutae sunt, ibid. Vol. I., S. 129 ff. — [39] Hult, Recherches sur les phénomènes périodiques des plantes, Upsala 1881. — [40] Hildebrandson-Rundlund, Prise et débacle des lacs en Suède, automne 1871 jusqu'au printemps 1879, Upsala 1879. — [41] v. Schleinitz, Ueber die von der internationalen Meteorologenkonferenz in Hamburg, Oktober 1879, geplante Polarforschung, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 206. — [42] E. Richter, Waldpflege in der Vorzeit, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 9. Band. S. 295 ff. — [43] Hellmann, Repertorium etc., S. 278. — [44] Lange, Welchen Einfluss hat das Ausroden der Waldungen auf das Klima und auf die Vegetation einer Gegend?, Altenburg 1837. — [45] Ebermayer, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden und seine klimatische und hygieinische Bedeutung, Aschaffenburg 1873. — [46] Lorenz v. Liburnau, Entwurf eines Programmes für forstlich-meteorologische Beobachtungen in Oesterreich, Mittheil. aus dem forstl. Versuchsw. Oesterreichs, 1878. S. 73 ff. — [47] Künzer, Ueber den Einfluss des Waldes auf den Zug der Gewitter im Kreise Marienwerder, Danzig 1880. — [48] Wollny, Untersuchungen über den Einfluss der Farbe des Bodens auf dessen Erwärmung, Forsch. auf dem Geb. d. Agrikulturphysik, 1. Band. S. 60 ff. — [49] Fautrat, Einfluss des Waldes auf die Temperatur, Naturforscher, 1875. S. 304. — [50] Fautrat, Einfluss von Laubholz im Vergleiche von Nadelholz auf den Regen und den Wassergehalt der Luft, Centralblatt f. Agrikulturchemie, 1878, I. S. 3 ff. — [51] Ebermayer, Die klimatischen Verhältnisse des bayrischen Waldes und des Spessarts, (Bremer) Geogr. Blätter, 6. Band. S. 47 ff. — [52] Rohlfs, Die Oase Djofra, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 15. Band. S. 145. — [53] Clavé, On the influence of forests on climates, Athenaeum, 1875. Nr. 2488. — [54] Fr. Pfaff, Ueber den Betrag der Verdunstung einer Eiche während der Vegetationsperiode, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 6. Band. S. 10. — [55] Ebermayer, Mittheilungen über den Kohlensäuregehalt der Waldluft und des Waldbodens im Vergleiche zu den nicht bewaldeten Flächen, (Wollny's) Forsch. auf dem Geb. d. Agrikulturphysik, 1. Band. S. 158 ff. — [56] van Bebber, Die Regenverhältnisse Deutschlands, München 1877. S. 119. — [57] Boussingault, Ueber den Einfluss des Umbruches des Bodens auf die Wasserläufe, Neues Jahrbuch f. Miner., Geol., Geogn. u. Petrefaktenkunde, 1838. S. 508 ff. — [58] Moreau de Jonnes, Untersuchungen über die Veränderungen, welche durch Ausrodung der Wälder in dem physikalischen Klima der Wälder entstehen, deutsch von M. Wiedemann, Tübingen 1828. — [59] Hahn, Inselstudien, Leipzig 1883. S. 16. — [60] Landolt, Der Wald und die Alpen, Zürich 1880. — [61] Angerer, Die Waldwirthschaft in Tyrol, vom volkswirthschaftlichen, sozialen und geschichtlichen Standpunkt beleuchtet, Bozen 1883. — [62] Toldt, Zur Waldfrage in den österreichischen Alpengebieten, Prag 1883. — [63] Denza, La meteorologia e la fisica terrestre al III. congresso geografico internazionale di Venezia, Roma 1882. S. 16 ff. — [64] Pfeil, Rührt der niedrige Wasserstand der Flüsse und insbesondere derjenige der Elbe und Oder, welchen man in der neueren Zeit beobachtet, von der Verminderung der Wälder her?, Krit. Blätter f. Forstwissenschaft, 11. Band. S. 62 ff. — [65] Hann, Handbuch etc., S. 57. — [66] Ibid. S. 79. — [67] Meech, On the relative intensity of the heat and light of the sun, Washington 1856. — [68] Rollinger, Vertheilung der Sonnenwärme auf der Erdoberfläche, Augsburg 1879. — [69] Schlemüller, Vier physikalische Abhandlungen, Prag 1881. S. 16 ff. — [70] Wiener, Ueber die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in ihren verschiedenen Breiten und Jahreszeiten, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 22. Jahrgang. S. 341 ff. — [71] Hann,

Handbuch etc., S. 77 ff. — [72] Röllinger, Vertheilung etc., S. 66. — [73] Hann, Handbuch etc., S. 68. — [74] Ibid. S. 69. — [75] Ibid. S. 71. — [76] Stow, On the absorption of the sun's heat-ray's by the vapours of the atmosphere, Rep. of the British Association, 1874. S. 39 ff. — [77] Hann, Handbuch etc., S. 85. — [78] Schoch, Darstellung der mittleren Jahrestemperaturen als Funktion der geographischen Breite und Länge, Zürich 1856. — [79] Hann, Handbuch etc., S. 134 ff. — [80] Ibid. S. 92. — [81] Ibid. S. 95. — [82] Ibid. S. 116 ff. — [83] Ibid. S. 120 ff. — [84] Ibid. S. 123. — [85] Winchell, Der Einfluss der grossen amerikanischen Seen auf die Temperatur des Staates Michigan, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 8. Band. S. 40 ff. — [86] Finsch, Zur Kenntniss der Hawaii- (Sandwich-) Inseln, Bremen 1883. S. 19. — [87] Hann, Handbuch etc., S. 528 ff. — [88] Hann, Ueber die Entstehung eines Kältecentrums im Winter, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 10. Band. S. 201 ff. — [89] Wojeikoff, Der Einfluss der Schneetemperatur auf die Entstehung der Kältecentren, ibid. 13. Band. S. 42 ff. — [90] Hann, Handbuch etc., S. 136. — [91] Ibid. S. 146. — [92] Ibid. S. 152. — [93] Hellmann, Ein Beitrag zur Physik der höheren Luftschichten, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 10. Band. S. 296 ff. — [94] Hann, Handbuch etc., S. 158. — [95] Ibid. S. 175. — [96] Ibid. S. 181. — [97] Ibid. S. 185. — [98] Ibid. S. 189. — [99] Ibid. S. 121. — [100] Ibid. S. 223.

Kapitel VIII.

Spezielle Klimatologie der Erdoberfläche.

§. 1. **Klimatographische Monographieen.** Kein Zweig der physikalischen Erdkunde eignet sich so wenig dazu, in einem umfassenderen Lehrbuche der Wissenschaft eine seiner hohen Bedeutung entsprechende Behandlung zu finden, wie die Klimatographie, die einestheils eine rein beschreibende Wissenschaft ist, anderentheils aber doch auch die Verwerthung der von der theoretischen Klimatologie aufgestellten Normen für die topische Geographie zu zeigen hat. Hann's Meisterwerk erhält diesen seinen Charakter eben besonders dadurch, dass es in seinem zweiten Theile eine mit grösster Umsicht und staunenswerthester Belesenheit bewerkstelligte Sammlung klimatographischer Detailschilderungen darstellt*). Mehr als irgendwo sonst kommt auf diesem Gebiete die Monographie zu ihrem Rechte, und der Versuch, zu didaktischen Zwecken aus einer Fülle von Monographieen das Gemeinsame und Charakteristische auszuheben, könnte nur dann mit Erfolg gewagt werden, wenn ein unverhältnissmässig grösserer Raum zur Verfügung stände. Es kann ebensowenig unsere Absicht sein, dem Leser eine Uebersicht über die zahllosen Erzeugnisse klimatographischer Schriftstellerei zu geben. Nur um einige besonders verdienstliche und in methodischer Hinsicht zur Nachahmung zu empfehlende Arbeiten dieser Art namhaft zu machen, nennen wir aus der älteren (Dove'schen)

---

*) Erst während der Ausarbeitung dieses Kapitels kam dem Verf. Nachricht von dem neuen grossen Werke Wojeikoff's [1] zu, welches er zunächst allerdings nicht aus eigener Anschauung, sondern nur durch W. Köppen's Recension [2] kennt. Dieser letzteren zufolge scheint dasselbe sowohl in den Aeusserlichkeiten des Planes, als auch der inneren Güte nach sich dem Hann'schen würdig zur Seite stellen zu können.

Periode die klimatischen Detailschilderungen Coburg's von Eberhard [3] und Posen's von Magener [4], welch' letztere namentlich auch für die durch Entwaldung und Entsumpfung bewirkten Klimaänderungen von Interesse ist; für die moderne Methode charakteristisch können die Untersuchungen von C. Lang [5] über das Klima Altbayerns gelten.

Selbstverständlich kann auch die gründlichste Forschungsarbeit auf diesem Felde keinen abschliessenden Schematismus aller klimatischen Verhältnisse liefern, einmal darum, weil eben das Klima selbst nichts Fertiges und Stabiles ist, dann aber auch deshalb, weil jedes neue meteorologische Beobachtungsjahr das Material erweitert und vertieft. So konnte z. B. die an sich sehr verdienstliche Klimatographie der jonischen Inseln, welche Bösser [6] im Jahre 1876 geliefert hatte, nicht mehr ihren normativen Charakter behaupten, nachdem Partsch [7] auf Grund einer sechs weitere Jahre umfassenden Beobachtungsreihe für fast alle klimatischen Faktoren abweichende Durchschnittswerthe berechnet hatte.

In der Zwangslage, in welcher wir uns hier dem kleinen Raume und dem massenhaften Stoffe gegenüber befinden, gedenken wir uns in Gemässheit des folgenden Planes zu verhalten. Wir skizziren die Wärme- und Windverhältnisse nach den hiefür grundlegenden Arbeiten Supan's, benützen für die Vertheilung des Regens die gleichfalls mustergültige Darstellung von Wojeikoff und entwerfen endlich im Anschlusse an Hann eine allgemeine Charakteristik der Erdzonen in klimatologischer Hinsicht. So vorgehend, dürfen wir wenigstens hoffen, dass über die Beziehungen der klimatischen Elemente zur geographischen Lage einiges Licht verbreitet werde.

§. 2. **Die Wärmezonen der Erde.** Um die Vertheilung der Wärme auf der Erde klar zu übersehen, darf man nicht lediglich die Mittelwerthe betrachten, sondern man hat auch die Veränderungen der Temperatur zu berücksichtigen. Supan that diess [8], indem er auf einer Weltkarte die Isotalantosen oder Linien gleicher Wärmeschwankung zog*). Als Distanz wurde diejenige von 5° gewählt. Da aber, wie wir im Schlussparagraphen des vorigen Kapitels sahen, die Höhe über dem Meere das Klima in der augenfälligsten Weise beeinflusst, so musste sich Supan die Frage vorlegen, ob eine Reduktion auf den Seespiegel thunlich sei. Er verneinte diese Frage und schloss damit natürlich sämmtliche Bergstationen bei der Verzeichnung der Isotalantosen aus [10]; die aus der Zuziehung der Plateaustationen allerdings entfliessenden Fehler hält er für unerheblich.

Aus der Betrachtung dieser Kurven folgt nun das Vorhandensein der folgenden vier Klimate: See- und Aequatorialklima mit einer Schwankung $< 15^\circ$, Uebergangsklima mit einer Schwankung $> 15^\circ < 20^\circ$, Landklima mit einer Schwankung $> 20^\circ < 40^\circ$, excessives Kontinentalklima mit einer Schwankung $> 40^\circ$. Aechtes Seeklima besitzen in Europa England, vielleicht die Umgebung der Hauptstadt und diese selbst ausgenommen, sowie die Südwestküste Skandinaviens, der eine oder andere Hafen-

*) Eine graphische Arbeit dieser Art ward zwar schon früher von Johnton [9] gefertigt, jedoch noch nicht mit befriedigendem Erfolge.

platz der Niederlande, der Normandie und Bretagne, die Nord- und Westküste der iberischen Halbinsel und ein schmaler Saum des Mittelmeeres nebst Sicilien. Je weiter man im Mittelmeergebiete nach Osten vordringt, um so mehr zieht sich das Seeklima vor dem Uebergangsklima und demnächst dem Landklima zurück. Die starken Biegungen der Isotalantosen im Inneren Europa's sind — wegen dessen Küstengliederung — leicht, im Inneren Asien's weit schwerer verständlich. Wenn der obere Irtysch excessives Kontinentalklima aufweist, der obere Ob und Jenisei dagegen weniger, so liegt der Grund dafür in den zunächst von Hann einlässlich studirten thermischen Windrosen jener Flussgebiete. Nordamerika wie Europa berechtigen zu dem Schlusse, dass nördlich vom 30. Grade Norderbreite das See- und Uebergangsklima auf die Westseiten der Kontinente beschränkt ist; nach Wojeikoff gilt ein Gleiches für die subtropische Regenzone, und beidemale ist der Grund in der Vertheilung des Luftdruckes zu suchen.

Zwischen der alten und neuen Welt treten bezüglich der Wärmeschwankung entschiedene Analogieen hervor, wie dass selbe an der Ostküste eine grössere Amplitude umfasst, als an der Westküste; je weiter nach Süden man geht, einer umso geringeren Amplitude begegnet man in der neuen Welt, wie sich aus deren Verengerung gegen Süden hin leicht ergiebt. Bei Grönland umgekehrt scheint die Differenz zwischen Maximal- und Minimaltemperatur an der Ostküste geringer zu sein, als an der Westküste. Island hat Seeklima, soweit es vom Golfstrome umspült wird. Von Australien weiss man zur Zeit noch zu wenig Genaues; Südamerika besitzt, den Komplex zwischen 25° und 43° Süderbreite ausgenommen, blos Aequatorial- und Seeklima und stellt sich dadurch in scharfen Gegensatz gegen Nordamerika*). Im Allgemeinen muss auch auf der Südhalbkugel den Westküsten der Festlandmassen ein gleichmässigeres Klima zugesprochen werden, als den Ostküsten, was sogar für Neuseeland zuzutreffen scheint. Das reinste Aequatorialklima ist vertreten im indischen Ocean mit 0,8° bis 1,2°

*) Für die nördlicheren Unionsstaaten ist, wie Ratzel ausführt [11], der Unterschied der Temperatur in den einzelnen Jahreszeiten viel zu gross, als dass aus dem Jahresmittel eines Ortes oder aus dem Gange der Jahresisothermen klimatologische Schlüsse abgeleitet werden könnten. Sommer- und Winterisothermen weichen ganz ungemein von einander ab. Die Wärmevertheilung ist eben die excessivst kontinentale, welche, von Nordasien abgesehen, die Erde kennt. Wie sehr mit wachsender Breite der Unterschied zwischen berechneter und beobachteter Temperatur sich vermehrt, darüber vergewissert uns folgende von P. Henry (1865) berechnete Tabelle:

Breite	Theoretische Mitteltemperatur	Beobachtete Mitteltemperatur	Differenz
25°	23,51°	23,62°	— 0,11°
30°	21,67	20,55	— 1,12
35°	19,53	16,66	— 2,87
40°	17,11	11,66	— 5,45
45°	14,43	6,94	— 7,79
50°	11,50	2,77	— 8,73

jährlicher Temperaturdifferenz. Die mittlere Jahresamplitude, nach einer derjenigen Dove's nachgebildeten Methode berechnet, beträgt für die nördliche und südliche Hemisphäre jeweils 9° und 5°, in welchen Zahlen sich die Gegensätzlichkeit zwischen Land- und Wasserhalbkugel ausprägt. — Allgemeine Gesetze der Wärmeschwankung mögen etwa sein: dieselbe nimmt von der Küste binnenwärts, vom Aequator polwärts zu, so jedoch, dass die betreffende Kurve über den wasserreichen Theilen der Südhalbkugel wieder stark herabsteigt; die Maxima der Schwankung fallen im Norden in die Umgegend von Kältepolen; oberhalb massiger Tafelländer ist die vertikale Abnahme der Jahresschwankung geringer, wenn sie nicht sogar ihr Vorzeichen wechselt.

Supan schlägt in einer anderen Abhandlung [12] die Eintheilung in Wärmezonen vor, welche den geometrischen Klimaten zu substituiren wären. Es sind diess:

a) **Die warme Zone.** Dieselbe verläuft zwischen den beiden Jahresisothermen von 20°. Sie zerfällt in den tropischen Gürtel, der polwärts durch die Temperatur des kältesten Monates von 20° Durchschnittswärme begrenzt ist, während zwischen dieser und der angegebenen Grenze der ektropische Gürtel liegt.

b) **Die gemässigte Zone.** Zwischen den Jahresisothermen von 20° und 0° verlaufend und in einen Aequatorial- und Polargürtel zerfallend.

c) **Die kalte Zone.** Charakterisirt durch andauerndes Bodeneis (I. Band, S. 302). Auch hier wird ein Aequatorial- und ein Polargürtel unterschieden, deren Scheidelinie die 0°-Isotherme des kältesten Monates ist.

Supan's Klassifikation wird von Hann in der Hauptsache anerkannt, doch meint derselbe, dass die neuen Zonen für hohe Breiten ihrem Namen kaum weniger Gewalt anthäten, als die Zonen des Parmenides. „Man wird daher berechtigt sein," so äussert sich Hann [13], „neben den Temperaturzonen Supan's auch die älteren Zonen des solaren Klima's beizubehalten, da auch ihnen eine reale Bedeutung zukommt, und da das solare Klima in seiner Wichtigkeit für die Pflanzengeographie nicht unterschätzt werden darf."

Es soll hiebei nicht verschwiegen werden, dass W. Köppen in seiner uns aus dem vorigen Kapitel bekannten Studie über die dem menschlichen Organismus am meisten angepassten Zonen zwei neue thermische Grenzlinien — diejenigen, jenseits deren die Mitteltemperatur sich durch einen und durch vier Monate über 10° erhält — als besonders wichtig hingestellt hat [14]. Seine Karte zeigt uns die Wärmegürtel der Erde nach einem neuen Principe, nämlich nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit.

§. 3. **Die geographische Vertheilung des Regens nach Wojeikoff.** Es bedarf wohl keiner Rechtfertigung, dass dieser Paragraph im Wesentlichen nur eine Wiedergabe jener Hauptresultate darstellt, welche der für diesen Theil der physikalischen Erdkunde kompetenteste Forscher erlangt hat [15]. Derselbe hat nicht etwa blos sämmtliche Daten der Festlandstationen verwerthet, sondern er hat auch die Methoden der maritimen Meteorologie, mit welchen uns das zehnte Kapitel bekannt machen wird, in den Dienst der ombrologischen Arbeit zu stellen ge-

wusst. Auf diesem Wege fortschreitend, sah sich Wojeikoff dazu geführt, die gesammte Erde in Regengebiete oder Regenzonen einzutheilen. Die Grenzlinien dieser Gebiete geben uns ein deutlicheres Bild von der geographischen Austheilung des Regenfalles, als ein solches durch das früher angewandte Verfahren zu erhalten war. Seit nämlich Berghaus die erste Regenkarte seinem „Physik. Atlas" beigegeben hatte, deutete man, wie Krümmel des Näheren auseinandersetzt [16], die zeitliche Vertheilung der Niederschläge durch Einzeichnung der drei Provinzen des Winter-, Herbst- und Sommerregens an, die verschiedene Intensität jener aber dadurch, dass man die Linien gleicher Regenhöhe (Isohyetosen, Isombroten) eintrug. Für Böhmen*) hat, wie wir unserer Quelle entnehmen, Fritsch, für Frankreich Delesse, für England Keith-Johnston derartige Karten hergestellt (ein hübsches Tableau des letztgenannten Landes findet man auch in dem vielfach citirten Werke der sechs englischen Meteorologen), Gesammt-Europa ist eben von Krümmel sehr sorgfältig kartirt worden. Allerdings können, wie Hann bemerkt [17], all' diese Darstellungen nicht sowohl dem streng wissenschaftlichen, wohl aber dem didaktischen Bedürfnisse genügen. Nach diesen Vorbemerkungen gehen wir zu unserer eigentlichen Aufgabe über, zur Aufzählung und Kennzeichnung der Zonen von Wojeikoff**).

a) **Zonen der Seepassate mit sehr seltenem Regen.** Je zwei Gebiete im grossen und im atlantischen, ein Gebiet im indischen Ocean, für welche die aus kälteren Gegenden kommenden Passatwinde keine Trübung der Atmosphäre herbeiführen.

b) **Gebiet des äquatorialen Regens, mit Verschiebung der Kalmenzone.** Ein schmaler, den Aequator begleitender Gürtel, der sich nur im indischen Meere verbreitert. Humboldt's Behauptung, dass die Llano's des Orinoko ganz des Regens entbehrten, trifft nur für den in diesen Gürtel hineinreichenden Theil derselben zu.

---

*) Böhmen kann, wie die Dinge heute liegen, als das hyetographische Musterland bezeichnet werden. Das Kronland ist mit einem dichten Netze von ombrometrischen Stationen überzogen, und alljährlich werden die Einsendungen dieser Stationen von Professor Studnička in Prag gesammelt, diskutirt und in den Denkschriften der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften veröffentlicht.

**) Wir benützen diese Gelegenheit, zu erwähnen, dass Augustin durch Berechnung einer zehnjährigen Beobachtungsreihe aus den Orten Prag, Zechen (in Schlesien), Wien, Bern und Modena eine tägliche Periode in der Quantität des Regenfalles hergeleitet hat [18]. Das Hauptmaximum tritt einige Zeit nach dem Temperaturmaximum ein, gewöhnlich zwischen vier und fünf Uhr des Nachmittages. Das zweite Maximum fällt zwischen neun und zehn Uhr Abends, das dritte zwischen neun und zehn Uhr Vormittags, doch ist dasselbe unbeständig und im Sommer auch ganz verwischt. Das Hauptminimum liegt im ganzen Jahre früh bei vier Uhr Morgens, ein zweites Minimum zwischen sieben und acht Uhr Abends, das dritte Theilminimum fällt auf die elfte Vormittagsstunde. — Die Gesammtpotenz des fallenden Regens auf der Erde berechnet Reuleaux, wie Holzmüller anführt [19], auf 100 000 000 000 Pferdekräfte, also auf das 600fache der von sämmtlichen vorhandenen Dampfmaschinen geleisteten mechanischen Arbeit. Eine gewaltige Zahl, die aber verständlich wird, wenn man bei Gewittern das heftige Plätschern der Regentropfen beachtet; kommen doch nach Krümmel [20] Regentropfen vor, welche nach dem Zerfliessen auf horizontaler Auffangfläche einen 6—8 cm im Durchmesser haltenden Kreis darstellten.

c) **Gebiet der das ganze Jahr hindurch währenden Regenfälle.** Das Maximum erreichen diese Regen während und unmittelbar nach der Kulmination der Sonne. Das Gebiet ist kein zusammenhängendes, sondern zerfällt in vier Stücke: Centralamerika und Westindien, den mittleren Theil Südamerikas ohne Peru, Südafrika, die westliche Region der Südsee im Südosten der australischen Monsune.

d) **Subtropische Zone mit regenarmen Sommern.** Auf beiden Hemisphären, wesentlich aber über dem Weltmeere. Hierher gehört der Süden des Atlantik zwischen 25° und 40° Süderbreite sammt dem Kaplande, der südliche Theil Australiens mit den angrenzenden Meeren, und ein gleichmässig, wie durch den Atlantik, so auch durch den Pacifik sich hinziehender Parallelstreifen, ferner ein Streifen im nordatlantischen Ocean, der etwa bis zu den Felsengebirgen reicht. Ein anderer Streifen beginnt an den Azoren, geht durch das mittelländische Meer hindurch und läuft in schmalen Zungen einerseits in Persien, andererseits am Balgasch-See aus. In Algerien, das zum grossen Theile in diese Zone fällt, und das durch Raulin [21] und Brocard [22] sehr genau in hyetographischer Beziehung erforscht ward, tritt schon die Eintheilung in eine nasse und in eine trockene Jahreszeit deutlich hervor, welch' letztere die vier Monate Mai bis September (exklusive) umfasst. Das Bergmassiv des Kabylenlandes erscheint dort am meisten vom Regen begünstigt.

e) **Zone des vorwaltenden Herbst- und Winterregens mittlerer Breiten.** Ihr gehören an der weitaus grösste Theil des Atlantik mit Island, die Westküsten von Norwegen, Grossbritannien, Frankreich, Nordspanien, Norditalien, eine schmale Brücke, die über den Bosporus zum schwarzen und kaspischen Meere hinübergeht, des Ferneren die Osthälfte des Pacifik zwischen 40° und 60° Norderbreite; auf der Südhalbkugel ein Gürtel, der aus dem atlantischen Ocean kommt, den indischen ganz durchzieht, über Tasmanien und Neuseeland in das stille Meer hinein sich fortsetzt und auch Patagonien's Westküste in sich aufnimmt. Die Gesammterstreckung dieses Gürtels beträgt 310 Längengrade; den Grund hiefür liefert die Verschiedenheit der Wärmekapazität von Land und Wasser.

f) **Zone des vorwaltenden Sommerregenfalles mittlerer Breiten.** Auf der Nordhalbkugel ist diese Zone ungefähr durch den 40. Parallel begrenzt, nur in Nordamerika, wo diese Zone auch noch in die vormals russischen Gebietstheile übergreift, erstrecken sich zwei Ausläufer bis jenseits dieses Breitegrades. Im Osten haben wir zu nennen Schweden, beinahe das ganze europäische Russland und Westsibirien, den grössten Theil von Oesterreich-Ungarn und Bayern. In Südamerika, Afrika und Australien besteht für den Regenfall ebenfalls ein Sommermaximum, wie sich kürzlich erst nachweisen liess.

g) **Zone des gleichmässig durch alle Jahreszeiten vertheilten Regenfalles.** An dieser Zone haben Theil Frankreich, Holland, Dänemark, Südschweden — immer einige Küstenstriche (s. o.) ausgenommen —, das Ostsee-Litoral, Nord- und Westdeutschland *), Westungarn, Bul-

*) Deutschland ist, wie wir hieraus ersehen, kein einheitliches Regengebiet, und dieser Umstand setzt begreiflicherweise Demjenigen, der ein übersichtliches Bild von den Regenverhältnissen unseres Vaterlandes zu entwerfen unternimmt,

garien und die Krym, die Mehrzahl der Unionsstaaten — Florida und Carolina gehören zu f) —, Canada und die Länder um die Hudsonsbay herum. Auf der Südhalbkugel ist diese Zone jenseits des 49. Breitenkreises die herrschende, doch gehört von ausgedehnteren Landkomplexen nur die neuseeländische Südinsel und die Ostküste Südamerika's vom Feuerland bis Buenos Ayres hierher.

h) **Polargebiete mit schneearmem Winter.** Es sind ihrer drei: Ein aus dem nordamerikanischen Kontinente herausgeschnittenes gleichschenkliges Trapez, dessen kleinere Parallelseite noch südlich vom grossen Sklavensee liegt, sodann Grönland*), und endlich Ostsibirien, von welchem jedoch der alleröstlichste Theil noch unter die vorige Rubrik fällt. Diesen Regionen kommt ein entschieden kontinentaler Charakter zu, an dem im Winter auch das Land der nordwestlichen Durchfahrt participirt. Sobald in der wärmeren Jahreszeit dort das Meereis aufthaut, fehlt es auch nicht an Niederschlägen.

i) **Wüsten und Halbwüsten mit einer Niederschlagsmenge unter 250 Millimetern.** Zuerst fällt uns hier natürlich die Sahara in's Auge, deren Regenmangel ehedem den aus Nordosten wehenden Winden zugeschrieben ward; dieselben sind aber keineswegs centralasiatischen, sondern selbst afrikanischen Ursprunges. Der im Sommer über diesem Wüstenlande sich erhebende heisse Luftstrom veranlasst nach Buys-Ballot's Gesetze das Einströmen kalter und trockener Winde, die keinen Regen zu bringen vermögen. Nordarabien und Mesopotamien sind ebenfalls sehr trocken, Persien und Belutschistan sind kesselartige Hochländer, zu denen die warmen Winde herabsteigen, indem sie dabei eine höhere als die zum Verdichten der Dämpfe erforderliche Temperatur mitbringen. Die arabisch-kaspische Wüste wird durch einen Streifen, der die schönen Landschaften Persiens mit Ispahan und Schiraz enthält und sich ausgiebiger Winterregen erfreut, von der persischen Wüste getrennt. Die Wüstengegend im chinesischen Turkestan ist deshalb so regenlos, weil die sie umschliessenden Bergkämme den darüber hinstreichenden Luftströmungen alle Feuchtigkeit entziehen. Etwas regenreicher ist die Gobi. In Nordamerika gehört der ganze Westen der Union, eine schon erwähnte Zone abgerechnet, zu den sehr trockenen Halbwüsten. Die Regenlosigkeit der Kalahari in Afrika hat augenscheinlich die nämlichen Gründe, wie diejenige der turkestanischen Wüste. Das Innere von Australien ist nicht ganz so wasserarm, wie man früher annehmen zu müssen geglaubt hatte. Regenlos ist dagegen die Westküste Südamerikas von 5° bis 30° lat. austr.; bis zu 18° fällt allenfalls noch in den Anden einiger Regen, aber noch weiter südlich ist nicht einmal genug Cisternenwasser zum Trinken vorhanden.

k) **Territorium des australischen Monsuns.** Charakteristisch für diese Dauerwinde (vgl. Kap. VI, §. 9) ist in hyetologischer Hinsicht,

---

nicht unbeträchtliche Schwierigkeiten entgegen. Gleichwohl besitzen wir sehr verdienstliche Arbeiten dieser Art von v. Möllendorff [23], van Bebber [24] und Töpfer [25], von welchen die letztgenannte erst der allerneuesten Zeit angehört.

*) Grönland hat allerdings so wenig, wie das soeben erwähnte Deutschland, einen einheitlichen Charakter in Bezug auf Niederschlagsverhältnisse, vielmehr muss der äusserste Südwesten der Rubrik h) abgesprochen werden, da dort zu allen Zeiten des Jahres Schnee fällt.

dass sie dann, wenn sie vom Land zum Meer wehen, nur wenig, im umgekehrten Falle aber viel Regen bringen. Diese Eigenschaft kommt mithin einem über Nordaustralien, Neu-Guinea und den indischen Archipel sich ausdehnenden Flächentheile zu; die vom Monsun gebrachten sommerlichen Niederschläge dringen tief in das Innere Neuhollands ein.

l) **Territorium des asiatischen Monsuns.** Dasselbe zerfällt in die beiden Einzelgebiete des indischen und des ostasiatischen Monsuns. Ersteres begreift in sich den indischen Ocean mit seinen Golfen, letzteres das gelbe, chinesische und japanische Meer bis hinauf zu der Halbinsel Sachalin. Diese Definition Wojeikoff's ist weiter, als die gewöhnliche, stützt sich aber auf Thatsachen, die erst später ermittelt wurden. Ceylon und die Philippinen bekommen den Nordostmonsun über's Meer, haben also auch im Winter relativ starke Niederschläge. Umgekehrt hat auch die Westküste von Nippon Winterregen.

m) **Territorium des afrikanischen Monsuns.** Diess ist ein südlich der Sahara verlaufendes und genau zwölf Grade umspannendes Band, in welchem Nigritien und der Sudân liegt. Im Winter herrscht Nordostwind, als Fortsetzung des Nordostpassates der Sahara, im Sommer prävaliren Süd- und Südwestwinde mit ansehnlichem Regenfalle, durch welchen die Regenzeit, der Charif der Araber, herbeigeführt wird; recht anschaulich hat uns dieselbe Nachtigal geschildert*) [26]. Im Süden grenzt dieses Band an die Zone der regelmässigen Niederschläge an, im Norden an die Wüste. Sintemalen diese Zwischenzone sonach den strengen Gegensatz zwischen Winter und Sommer aufweist, hat Wojeikoff kein Bedenken getragen [27], jene als ein selbstständiges Monsunterritorium aufzuführen. —

Die charakteristischen Niederschlagsmengen der einzelnen Zonen fixirt Wojeikoff (a. a. O.) folgendermassen. Zone I erhält eine Regenhöhe von 0 bis 300 mm pro Jahr, z. B. Ascension 84 mm, Insel Baker in der Südsee etwa 100 mm. Zone IV enthält Orte von mehr als 200 mm, Zone V solche Gegenden, in denen drei successive Herbst- und Wintermonate nicht weniger als 32 % und drei successive Sommermonate etwa 12 % des ganzen Niederschlagsbetrages auf sich nehmen; in Zone VI fallen auf die Sommermonate mehr denn 35 %. In Zone VII verhalten sich die regenärmsten Monde zu den reichsten, was die Niederschlagsquanta anlangt, etwa wie 1 : 2 oder auch wie 1 : 2,5. Zone IX hat als oberste Grenze 200 bis 250 mm (Alexandria 250, Biskra 215). Astrachan hat 143 mm, Nukus am Amu Darja 71 mm Regenhöhe**), am Colorado in Amerika sind 63 und 87 mm gemessen worden.

---

*) Man unterscheidet im centralen Sudân eigentlich drei Jahreszeiten: die Regenzeit im Juni, Juli, August, September, die kühle Jahreszeit im Oktober, November, Dezember, Januar und die warme Jahreszeit im Februar, März, April, Mai. Die kühle geht in die warme Periode ganz unvermittelt und sprungweise über, so dass unser Frühling dort ganz in Wegfall kommt.

**) Von der Aralo-Kaspi-Niederung gilt im Wesentlichen das Gleiche, wie für das südliche Russland (s. o.) [28], d. h. es ist jene Niederung durchaus nicht absolut regenarm, wenn auch der wirklich fallende Regen dem Bedürfnisse der Bewohner in keiner Weise genügt. Lochtin beschreibt uns [29] anziehend, welche Mittel man in jenen Ländern ergriffen hat, um der Natur zu Hülfe zu kommen und den Wassermangel auszugleichen. Hiezu dienen die ausgedehntesten Bewässerungsanlagen. Im September erreicht der Amu-Darja sammt seinen Tributär-

Wojeikoff bildet das folgende Tableau der Gegensätze zwischen Ost und West, indem er die Procente von der gesammten Niederschlagsmenge des Jahres nimmt:

	Westl. (Kap) Südafrika	Oestl. (Gr. Rainet) Südafrika	Westl. Australien	Oestl. Australien	Westl. (Santiago) Südamerika	Oestl. (Cordoba) Südamerika
Januar u. Februar	5,7	26,8	2,6	18.3	0,5	40,6
Juni u. Juli . .	32,7	4,9	46,1	13,2	45,3	1,0

Ein ähnliches Tableau verdeutlicht uns die resp. in der alten und in der neuen Welt zwisch Ost und Westseite bezüglich der Procente des Jahresniederschlages bestehenden Gegensätze:

	West-Europa (Lissabon)	Ost-Asien (Peking)	West-Nordamerika (San Francisco)	Ost-Nordamerika (Philadelphia)
Juli u. August	1.6	59,1	0,2	19.3
Dec. u. Jan.	25.5	0,8	43,2	16,2

Ostasien mit seinen kolossalen Monsun-Gegensätzen steht sonach im denkbar schärfsten hyetographischen Kontraste zum Osten Nordamerika's, wo die Vertheilung der Niederschläge eine ziemlich gleichförmige ist.

Noch seien aus Wojeikoff's Abhandlung einige nicht unwichtige Fakta angeführt. Ein langlebiger Irrthum hatte sich betreffs Südrussland's eingebürgert, dem noch Peschel mit den Worten huldigte [30]: „Südrussland gehört trotz seiner winterlichen Schneestürme schon zum subtropischen Gürtel Europa's, denn die periodischen Winterregen steigen dort, wie Mühry nachweist, bis zum 50. Breitengrade, wenn auch undeutlich.“ Leipoldt hat die erforderliche Korrektur angebracht [31]. Man hatte eben aus der allerdings grossen Dürre auf mangelnden Sommerregen geschlossen, allein für den Steppencharakter ist blos die Regenmenge entscheidend. — Die gewaltigen Wassermengen der chinesischen Flüsse weisen nach Olmham auf ergiebigen Sommerregen im Lande der Mitte hin. — Wie wichtig die Berücksichtigung des Lokalcharakters ist, lehrt uns das Beispiel von Batavia und dem nur 40 km entfernten, aber 270 m höheren Buitenzorg; die Regen der Küstenstadt halten sich genau an die Monsunperiode, wogegen der Binnenort Regen zu allen Jahreszeiten und fast jeden anderen Tag ein Gewitter (s. Kap. IV, §. 6) hat! In keinem Theil der Meteorologie ist eben theoretisches Schematisiren so wenig am Platze, wie in der Lehre von der Vertheilung der atmosphärischen Niederschläge.

flüssen einen so niedrigen Stand, dass die Ufer stellenweise einstürzen, während zur Hochwasserzeit Ueberfluthung eintritt, wie denn die Flüsse kontinentaler Klimate in ihren extremen Wasserständen vielfach die herrschenden Temperaturextreme abspiegeln. Das Kanalsystem ist auf kommunistischer Grundlage eingerichtet

Für Deutschland berechnet van Bebber [32] die durchschnittliche Regenmenge auf 709,8 mm; die Regenmenge des nördlichen, mittleren und südlichen Deutschland's sollen sich im Jahre zu einander verhalten wie 100 : 113 : 135. Die mittlere Regenhäufigkeit ist hingegen, dem nämlichen Gewährsmanne zufolge [33], eine ziemlich konstante, und zwar etwa gleich 0,434.

§. 4. **Die geographische Vertheilung der Winde nach Supan.** Maassgebend ist für uns in diesem Paragraphen das uns aus Kap. VI vortheilhaft bekannte Werk Supan's [34]. Indessen werden wir nicht aus ihm allein schöpfen, sondern zugleich jede uns sich darbietende Gelegenheit ergreifen, um auch den Lokalwinden, die ja oft für den physisch-geographischen Charakter einer Gegend so bezeichnend und deshalb auch von jeder wissenschaftlichen Landeskunde (I. Band, S. 29) zu einem Hauptgegenstande der Erforschung zu machen sind, ihr volles Recht angedeihen zu lassen. Alle regelmässigen Windsysteme (Kap. VI, §. 9) schliessen wir dagegen aus.

Supan benützte für seine systematische Darstellung hauptsächlich das grosse und in seiner Art einzig dastehende Werk Coffin's, welches von diesem, trotz der darauf gewandten Arbeit eines Lebens, nicht mehr vollendet werden konnte, sondern von seinem Sohne und von Wojeikoff (auf Kosten der Smithsonian Institution) herausgegeben werden musste [35]. Ausreichend erwies sich dasselbe allerdings nur für Amerika und für die Meere. Für Deutschland konnten die Arbeiten Hellmann's [36], für den atlantischen Ocean diejenigen Toynbee's [37] und Brault's [38], für Indien diejenigen Blanford's [39] Verwendung finden. Ausserdem hat Supan die Washingtoner Originalbeobachtungen selbst berechnet [40]. Wir besprechen nun die Windverhältnisse der einzelnen Länder für sich.

a) **Skandinavien.** Der klimatisch günstige Charakter der Westküste von Norwegen ist weniger durch den Golfstrom, als durch die herrschenden Winde bedingt [41]. Der norwegische Winter ist dann am mildesten, wenn zwischen Norwegen und Spitzbergen sich eine kräftige barometrische Depression entwickelt, so dass ein kräftiger Strom aus Südwesten einfliesst. Im Herbst, Winter und Frühling wehen an Norwegens Küste meist Südwinde, wogegen zur Sommerszeit an der West- und Nordküste ein Polarstrom herrscht, der nach Ley's Depressionskarten durch die Bewegung sehr vieler Minima in derselben Richtung (Kap. VI, §. 10) seine Richtung erhält. Vom nördlichen inneren Schweden ist nur bekannt, dass dort, wie auf den norwegischen Fjelden, Kalmen vorherrschen, doch rufen die Seen manche lokale Störung hervor. Die nordschwedische Küste zwischen Torneå und Gefle steht insoferne im Gegensatze zur Westküste, als im Sommer, Herbst und Winter die Aequatorialströmung*) den Ton angiebt; ein Gleiches gilt für Südschweden**). In Island beginnen die Süd- und

*) Man möge sich daran erinnern, dass Supan die Dove'sche Terminologie nur aus Gründen der Bequemlichkeit und Kürze sich zu eigen macht, aber ganz und gar nicht den von ihrem Urheber gewollten Sinn damit verbindet.

**) Ganz eigenartige, wennschon dem Allgemeinbilde der Gegend nicht zuwiderlaufende Verhältnisse scheint der einspringende Winkel darzubieten, in dessen Spitze die Königreiche Schweden und Norwegen an einander stossen. Eine treff-

Südwestwinde bereits eine untergeordnete Rolle zu spielen [43], auf Spitzbergen beobachtete Nordenskiöld vorwiegend östliche und südliche Winde, im Frühjahr durch häufige Windstillen unterbrochen [44].

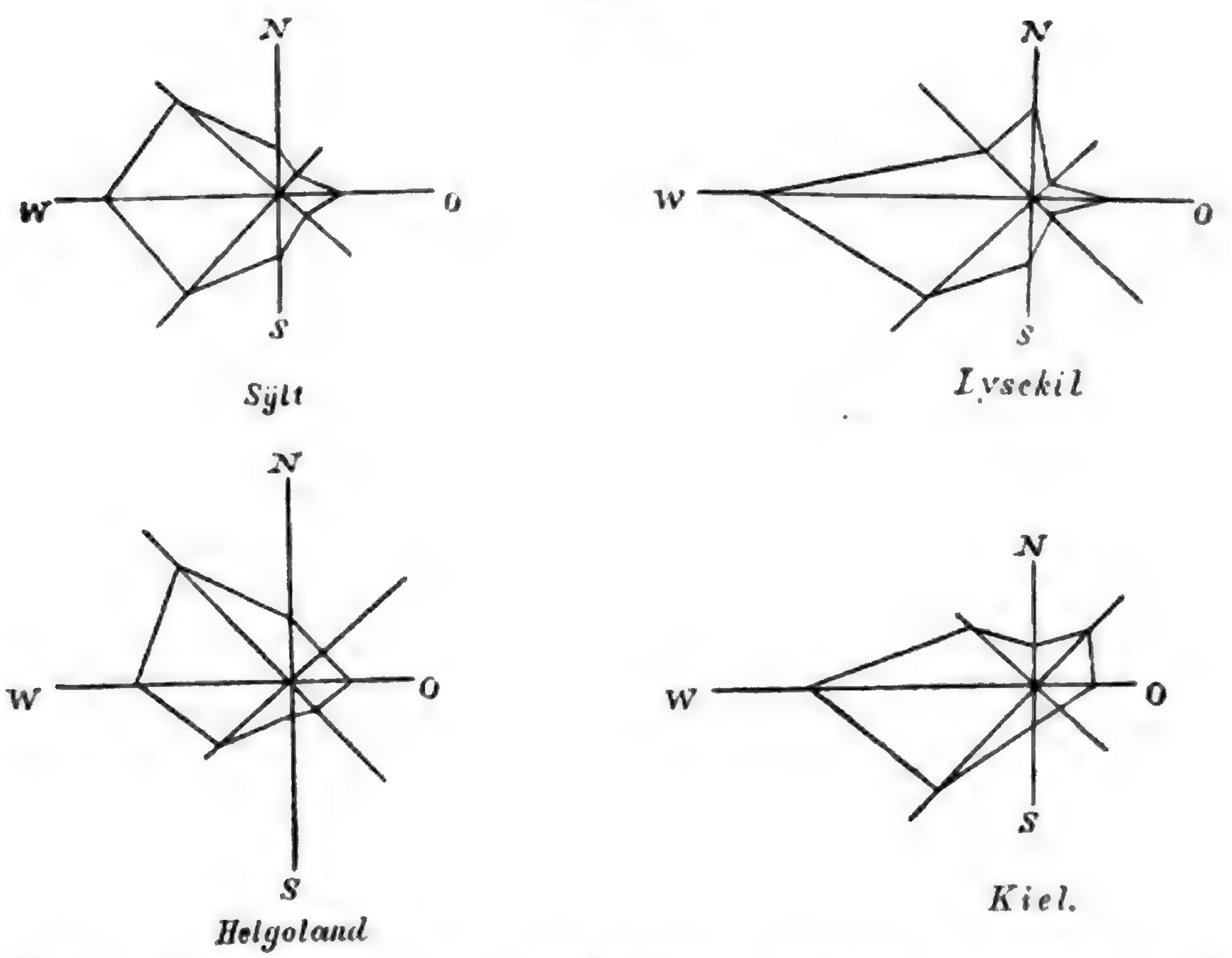
b) **Grossbritannien.** Die Winde wehen hier gerade so, als wäre gar kein Land an dieser Stelle vorhanden [45]. Aequatoriale Strömungen dominiren fast immer im Jahre, namentlich im Herbst und Winter, wodurch sie den Inseln ihr temperirtes Seeklima noch erhöhen *). Auch hier, wie in a), wirken die Windströmungen noch günstiger, wie jene des Meeres.

c) **Frankreich.** Dasselbe zerfällt, seiner orographischen Gliede-

---

liche Monographie des Badearztes Curman von Lysekil, welche zu unserer Verwunderung den klimatologischen Schriftstellern ganz entgangen zu sein scheint, charakterisirt die gleichmässig warmen Temperaturverhältnisse des Küstenrandes nördlich von Götheborg [42]. Es genügt, sich in Fig. 60 die von Curman ab-

Fig. 60.



gebildeten Windrosen der vier Orte Sylt, Helgoland, Kiel und Lysekil näher anzusehen, um das ungemein kräftig ausgesprochene Vorwiegen westlicher und südlicher Winde über östliche und nördliche zu erkennen und daraus die Ueberzeugung zu gewinnen, dass in der That nicht leicht im Norden eine bessere Disposition zum klimatischen Kurorte angetroffen werden möchte.

*) Für England's Klima ist es charakteristisch, dass dort eine Menge südlicher Gewächse, welche anderwärts unter gleichen oder niedrigeren Breitengraden unfehlbar erfrieren würden, überwintern können, ohne in geschützten Räumen untergebracht zu werden. Die Rebe dagegen gedeiht auf den britischen Inseln nicht, obwohl bereits Kaiser Probus dieselbe daselbst angepflanzt haben soll. Wein bedarf eben einer nicht sehr lang andauernden, aber jähen Hitze (der August soll „kochen"), und eine solche ist mit dem Küstenklima des Landes, wie wir wissen, unverträglich.

rung halber, in ein oceanisches und in ein mediterranes Windgebiet [46]; Belgien nimmt an ersterem Theil. Im Allgemeinen werden durch die herrschenden Winde die Winterisothermen nach Norden, die Sommerisothermen nach Süden verschoben; diess wirkt auf das Klima in dem Sinne, dass Nordfrankreich keinen Weinbau treiben kann. Die burgundische Ebene, der Jura, das Lyonnais und die Provence müssen als gesonderte Gebiete gelten, und in jedem derselben weht als präponderirender Wind der Mistral, der sich bis gegen Perpignan und San Remo hin bemerklich macht. Es ist diess ein „kalter, trockener, in heftigen Stössen auf das Meer sich hinausstürzender Landwind," wie sich Hann ausdrückt [47], der an dem wüstenartigen Aussehen der „französischen Sahara", der von Martins [48] einlässlich beschriebenen Crau, die Hauptschuld trägt. Nach Th. Fischer ist der Mistral für Marseille an 175 Tagen nachweisbar, am meisten aber scheint Avignon demselben ausgesetzt zu sein.

d) **Dänische Inseln und Jütland.** Das ziemlich selbstständige Windsystem Dänemark's gemahnt mehr an Südschweden, als an Norddeutschland. Aequatorialströmungen herrschen vor; ihr Minimum fällt in den Frühling, ihr Maximum in den Herbst.

e) **Niederlande und Norddeutschland.** Eine Gerade, die aus dem nordwestlichen Pommern über Berlin nach dem oberen Main gezogen wird, scheidet das deutsche Reich in zwei Windsysteme. Hier haben wir es zunächst nur mit dem nordwestlichen Theile zu thun, welcher allerdings mit dem südöstlichen Vieles gemein hat, so besonders das Vorwiegen der Aequatorialströmungen im Winter, während im Sommer der Gegensatz ein schärferer wird. Die Isobaren laufen den Breitenkreisen nahe parallel, während sie gegen die Trennungslinie hin eine Umbiegung nach Süden erfahren. — Eine Uebergangszone nimmt Mittel- und Oberrhein *), die bayrische Hochebene und das Maingebiet in sich auf, während der Osten Preussen's mit Schlesien schon den für das östliche Europa überhaupt charakteristischen Windtypus aufweist: Aequatorialwinde im Herbst und Winter, Polarwinde im Frühling und Sommer.

f) **Die Alpenländer.** Die Schweiz nimmt, ihrer abgesonderten Gebirgslage halber, an den grossen europäischen Luftbewegungen kaum einen grösseren Antheil, als die norwegischen Fjelde. Kalmen sind häufig. Da die Hauptkämme der Alpen und des Jura von Südwest nach Nordost streichen, so wiegen an der Nordabdachung auch die Südwest- und Nordostwinde vor. Auf dem Rigi und Uetliberg zeigt die Fahne meistentheils Westwinde. Charakteristisch sind für einzelne Gegenden der Schweiz zwei Lokalwinde: der Fön (s. Kap. VI §. 5) und die Bise, ein aus dem Rhonethal hervorwehender, zur Gattung der Seewinde (Kap. VI §. 9) gehörender Sturmwind, der von den Schiffen des Leman sehr gefürchtet wird und, je nach dem

*) Man darf diess natürlich nur so verstehen, dass im Grossen und Ganzen gemeinsame Verhältnisse bestehen, denn selbst für das kleine Gebiet unserer Reichslande glaubt ein genauer Kenner der dortigen Verhältnisse, Grad, drei verschiedene kleinere Klimaprovinzen auseinanderhalten zu müssen [49]: die eigentliche Rheinebene von Basel bis zum Haardtgebirge, das Vogesen-Vorland und das Innere dieses Gebirges, zu welchem auch die angrenzenden französisch gebliebenen Landestheile gehören.

Orte seines Auftretens, verschiedene Namen führt, die Grube sämmtlich aufzählt [50]. Besonders unangenehm kann die Komplikation werden, wenn der auch in Genf noch verspürbare Mistral (s. o.) entgegenweht. Das österreichische Alpenland wies gute Stationsbeobachtungen nur für Innsbruck, Graz und für den Hochobir in Kärnthen auf, und Supan musste erst die zusammenfassende Bearbeitung derselben vornehmen [51]. Das nördliche Tyrol und Salzburg gehören dem westeuropäischen Windgebiete an, und für den isolirten Schafberg gilt Aehnliches, wie für den Rigi. Tyrol's Westen kennt als Lokalphänomen den „Seefelder Wind" auf der von Telfs gegen die Wettersteingruppe hinaufziehenden Hochebene. In den östlichen Alpenländern gravitirt das Windsystem schon gegen den osteuropäischen Typus; die Karawanken und krainischen Alpen repräsentiren eine Wetterscheide, und nur der tiefe, schmale Riss des (von der Pontebba-Bahn durchzogenen) Fellathales verleiht dem Kessel von Tarvis einen schwankenden Witterungscharakter. Das österreichische Donauthal öffnet sich mit begreiflicher Vorliebe den Westwinden.

g) **Die Karpathenländer.** Die Isobaren zwischen 40° und 50° lat. zeichnen sich (s. o.) durch eine scharf markirte Ausbuchtung nach Südosten aus; eine die Winkelpunkte verbindende Linie wird von Wojeikoff die grosse Axe des Kontinentes genannt [52]. Dieselbe bezeichnet sonach einen Strich hohen Barometerstandes, von dem — ähnlich wie die Gewässer von einem wasserscheidenden Kamme — die Luftmassen nach beiden Seiten hin abfliessen; so kommt der von uns bereits gelegentlich erwähnte Unterschied zwischen ost- und westeuropäischem Windgebiete zu Stande. Zwischen Cilli und Graz ist diese Axe deutlich ausgeprägt, weiterhin durchzieht sie Ungarn und Galizien. In der ungarischen Ebene, in Siebenbürgen, Ostgalizien und im grössten Theile Rumäniens kommen Nordwest- und Südostwinde am häufigsten vor. Die nach der Isobarenkarte zu erwartenden südöstlichen und östlichen Winde sind für Ungarn verhältnissmässig selten, wohl deshalb, weil dasselbe vom Mittelmeere durch Gebirgswände getrennt ist, während längs der Donau die Luft einen ungehinderten Abfluss hat; Nordwestwinde lösen demzufolge den Nordost ab. Supan bestreitet zwar diese Erklärung Wojeikoff's, allein dieselbe scheint uns doch die richtige zu sein. Ersterer unterscheidet in dem uns hier beschäftigenden Territorium sechs in sich geschlossene Gruppen: den Nordostabhang der Karpathen, welcher in seiner Zugehörigkeit zu einem der beiden europäischen Windsysteme mit den Jahreszeiten schwankt, das Dnjester- und Pruththal, für welches die analoge, nur vom Flusslaufe vielfach beeinflusste Eigenthümlichkeit besteht, das oberungarische Bergland, welches den Uebergang von Galizien zur ungarischen Ebene vermittelt, Westungarn, welches im Winter in seinen Windverhältnissen sehr den Mittelmeerländern ähnelt, Ostungarn mit einer Art von Monsunwechsel, der ebenfalls durch das grosse europäische Binnenmeer bedingt erscheint, endlich Siebenbürgen mit sehr starken lokalen Eigenthümlichkeiten. So zeigt sich beispielsweise eine Abart des Föns in dem warmen „Rothenthurmwind" der Hermannstädter. Der vehemente Südostwind, welcher um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen das östliche Ungarn durchbraust und von Umlauft beschrieben ward [53], heisst die Koschava.

h) **Osteuropäische Ebene.** Das nördliche Russland participirt im Winter am nordatlantischen, im Sommer am asiatischen Windsysteme [54]. Auf der Insel Novaja Semlja werden im Winter besonders häufig Südwinde bemerkt, welche nach Spörer die Diagonale der Südwestwinde der See und der von der Ostküste kommenden Thalwinde darstellen. Finnland theilt sich in drei gesonderte Windgebiete, indem namentlich die Südküste ihren eigenen Monsun besitzt. Die Ostseeprovinzen stehen noch unter demselben Gesetze wie die preussische Seenplatte. Der Uebergang von diesem Cirkulationsbereiche zu dem Inneren Russlands prägt sich aus in den am Ilmensee gelegenen Stationen, wo im Frühling bereits die Seewinde fehlen. Im centralen Russland kommen die Polarwinde auch im Winter häufiger vor, und mit dem Fortschreiten nach Süden treten die Aequatorialwinde mehr und mehr zurück. Noch südlicher erreicht man endlich die Kontinentalaxe, die von Sacharnaja am Ural über Zarizyn an der Wolga nach Alexandrowsk am Dnjepr zieht, um nördlich von Kischenew in die Karpathen einzudringen. Ciskaukasien wird im Winter von zwei Gebieten hohen Druckes eingeschlossen und ist dann durch Windstille ausgezeichnet, im Sommer hat der Norden Ost- und Westwinde, während im Süden ein Bergwind nach der erhitzten Thalebene hinweht. — Russland als Ganzes schuldet den Dank für sein doch immer noch gemässigtes und nicht allzu kontinentales Klima seiner Windvertheilung: im Sommer wirken die polaren Winde abkühlend, im Winter ist es bei'm Mangel von Kalmen verhältnissmässig warm.

i) **Balkanhalbinsel und Archipelagus.** Subtropischer Charakter manifestirt sich hier im Sommer durch die Konstanz der aus Norden wehenden Winde. Vergleicht man die Beobachtungslisten von Konstantinopel und Chios miteinander, so stellt sich heraus [55], dass die Westküsten des Mittelmeeres in Bezug auf den klimatischen Einfluss der Winde sehr begünstigt sind *). In Dalmatien und Albanien ist die Jahresfrequenz der polaren Winde grösser als die der äquatorialen.

k) **Italien.** Nach Supan [58] bildet im Winter die lombardische Ebene die Vermittelung zwischen dem nord- und südeuropäischen Windgebiete, polare und äquatoriale Ströme halten sich hier das Gleichgewicht. Im Sommer bewirkt dort die Störung des thermischen Gleichgewichtszustandes das Hereinwehen alpiner Winde. Im Küstengebiete der Adria herrschen im Winter Nordost- und Ostwinde, Venedig hat grossentheils Nordwind. Die Emilia wird Winters von westlichen, Sommers von östlichen Luftströmungen durchzogen. Das tyrrhenische Küstengebiet von San Remo bis Neapel liefert den Beweis, dass die nördliche Passatgrenze auch über dem Festlande mit der Sonne auf- und abwandert. — Wichtig für die apenninische Halbinsel sind zwei ihr und ihren Adjacenten eigenthümliche Lokalwinde, der Scirocco

---

*) An den Dardanellen weht der zuerst von Maclaren [55] erkannte und mit diesem Namen belegte Ventus hellesponticus durch mindestens zehn Monate im Jahre und zwar in der Richtung gegen das ägäische Meer hin. Schliemann, dem seine archäologischen Beschäftigungen nicht hinderlich zu sein scheinen, um auch für die Natur noch ein offenes Auge übrig zu haben, bemerkt [56], dass sich die chronische Richtung dieses Windes in der Stellung der Bäume des Rhoeteums und des untersten Abschnittes der trojanischen Ebene ausdrückt, indem dieselben (eine Eichen-Art) ausnahmslos gegen West-Südwest geneigt sind.

und die Bora. Unter ersterem versteht man, wie Hann ausführt [59], einen ungewöhnlich warmen Südwind, der feucht und schwül die Regenzeit der mittelwarmen Länder einleitet und früher, ehe Dove diese Hypothese in seiner bekannten Monographie zunichte machte [60], von Vielen mit dem Fön identificirt ward. Süditalien und Sicilien haben ihren besonderen Scirocco, der heiss, trocken und staubführend ist; er ist es, von dessen bleischwerem Drucke auf alles Organische die Reiseberichte so viel zu melden wissen. Der Ansicht, dass der von diesem südlichen Scirocco herübergewehte Staub der Sahara entstamme, glauben wir mit Rücksicht auf Sprung's Eröffnungen über die gestaltlichen Verhältnisse der Trägheitsbahn nicht beipflichten zu können. Klarer ist der Ursprung der Bora [61]; dieselbe ist ein ganz ähnlicher Wind wie der Mistral (s. o.), wird aber, da die Gebirge der istrischen und dalmatinischen Küste, aus welchen sie hervorgeht, steil geböscht zur See abfallen, recht eigentlich zum Fallwind. Die Bora grenzt an der dalmatinischen Küste oft ziemlich unvermittelt an den Scirocco an. Geradezu verheerend äussert sich die Bora (der Borino) in Istrien und am ungarischen Ufer bei Fiume, doch leiden unter ihr auch die Lombardei in ihrem östlichen Theile und Friaul; in Triest fegt sie mitunter die Strassen so rein, dass dieselben ihrer Glätte halber kaum mehr zu begehen sind. Auch am schwarzen Meere ist eine Bora durch v. Wrangell nachgewiesen worden; der Grund für ihr Entstehen wird wohl der gleiche sein, dass nämlich über dem schwarzen Meere — wie dort im Südosten des adriatischen — ein Luftdruckminimum sich bildet, welches aspirirend auf die über den Gebirgsmauern Cirkassien's lagernden Luftmassen wirkt und diese zu jähem Sturze nöthigt.

l) **Iberische Halbinsel.** Im Winter bestehen drei Windgebiete, deren Randlinien auf die grossen Wasserscheiden fallen [62]: bis zum cantabrischen Gebirge reicht das nordatlantische System, im Bereiche der vier grossen atlantischen Flüsse dominirt der Nordostwind, und das Ostgebiet unterliegt einer Depression, welche sich über dem mittelländischen Meere westlich von Corsica ausbreitet. Im Sommer dagegen bilden Spanien und Portugal ein Windsystem für sich, und zwar nimmt der Luftdruck gegen das Innere hin ab. — Auch Spanien hat seinen Scirocco, den Leveche, der oft mit dem Solano Südspaniens konfundirt wird, jedoch mit Unrecht [63], da letzterer (s. o. Kap. VI, §. 5) mehr einen Föncharakter trägt. Der trockene, heisse Leveche weht aus Südost, Süd oder Südwest an der Mittelmeerküste hin; seine Südgrenze bezeichnet etwa Malaga. Auch der Leste Madeira's, ein Ostwind, der nach Hellmann seinen Namen eigentlich als „le Este“ geschrieben haben sollte, gehört in diese Kategorie [64].

m) **Afrika.** Diesen Kontinent charakterisirt Supan [65] durch den Hinweis darauf, dass er das ganze Jahr hindurch die Stätte einer barometrischen Depression ist, deren Centrum der Sonne bei ihrer (scheinbaren) Bewegung folgt. Auf jeder Seite des Aequators bilden sich so drei Windzonen heraus. In Nordafrika begegnen wir zunächst dem Windgebiete der westlichen Sahara mit prävalirendem Nordost, sodann dem auch den mittleren Nil einbegreifenden Windgebiete der östlichen Sahara, mit prävalirendem Nordwest und Nord, welcher auch

für Aegypten die Regel abgiebt, und endlich dem Windgebiete des oberen Nil, wo in der trockenen Zeit Nord mit Nordost, in der nassen Zeit Süd mit Südost abwechselt. Sudân und Senegambien haben Nordost im Winter, Südwest im Sommer und vielfach Kalmen*); Oberguinea ist durch ständige Südwest- und Südwinde charakterisirt. An der Danakilen-Küste dreht sich der Wind, wie Zöppritz [67] darlegt, mit auffallender Gleichmässigkeit im Sinne der Dove'schen Regel. Aehnliches gilt auch für die Umkreisung des barometrischen Minimums im Süden von Afrika [68], und es entwickeln sich in Folge dessen im Quadranten unten rechts östliche und nordöstliche Winde, im Matabele-Lande hat Mauch auch häufige Westwinde konstatirt. An der Westküste Südafrika's giebt die Süd- und Südwestrichtung immer den Ton an, wie denn Stanley's Reise mit einem solchen, Congo-aufwärts wehenden Dauerwinde zu kämpfen hatte [69]. — Ein ausgebreiteter und gefürchteter Lokalwind der nördlichen Wüstenregion ist der Samum, der in Aegypten Chamsin heisst [70]. Er zieht auch Arabien und Syrien mit in seinen Bannkreis, erhitzt die Lufttemperatur unter Umständen bis auf 50° und entwickelt, wie oben (Kap. IV, §. 4) erwähnt, intensive Reibungselektricität. Der Chamsin ist in Unterägypten eine häufige Erscheinung, in Kairo weht er durchschnittlich blos an 11 Tagen im Jahre, in Alexandrien aber schon dreimal so häufig [71]. In der Trockenheit und im Staubgehalt ähnlich dem Samum verhält sich der Harmattan der Goldküste, der aber sonst kühl ist und die Mitteltemperatur in nicht nennenswerther Weise beeinflusst [72].

n) **Hoch- und Ostasien.** Westsibirien hat im Herbst, Winter und Frühling Aequatorialwinde, im Sommer, wo sich seine Druck- und Temperaturverhältnisse von denjenigen Russland's wenig unterscheiden, Polarwinde. Der ostsibirische Kältepol giebt Anlass zur Entstehung einer Anticyklonalbewegung mit vorherrschenden Kalmen. Die pacifische Küste und Kamtschatka sind dagegen in's ostasiatische Monsungebiet einzubeziehen [73]. Dasselbe erstreckt sich nach Wojeikoff, wie schon erwähnt, vom Wendekreis bis zum 60. Parallel und umfasst das ochotski'sche Meer, das Amurland, Sachalin, Korea, Japan und Nordchina bis zum oberen Hoangho [74]. Den japanischen Inseln schrieben die Geographen — auch noch Peschel-Leipoldt in der ersten Auflage [75] — ein durch die umgebende Meeresströmung bewirktes sehr mildes Klima zu, allein jetzt weiss man, dass die herrschenden Nord- und Nordwestwinde viel Kühle mit sich bringen. Freilich kennt man mit voller Genauigkeit die Windverhältnisse nur für Tokio und Yokohama. — Von den trockenen — d. h. nicht mit atmosphärischem Schneefall begleiteten — Schneestürmen Sibiriens, die man Burane oder Purga's nennt, sind wir seit v. Middendorff's Expedition in die Tundren genau unterrichtet [76]. Es sind Wirbel-

*) Speziell für die Umgebung des Tsad-See's giebt Nachtigal an [66], dass den grössten Theil des Jahres über östliche Winde wehen, und dass diese Regelmässigkeit nur durch die Regenzeit beeinträchtigt wird. Dann beherrscht nämlich den Vormittag ein stürmischer Westwind, während für die zweite Tageshälfte der Ost wieder die Oberhand gewinnt. Im Juni tritt dieses Ablösungsverhältniss sehr bestimmt hervor, im Juli und August nimmt der Westwind mehr und mehr ab, und der Oktober sieht die völlige Restitutio in integrum.

stürme, die wahre „Schneehosen" (Kap. VI, §. 11) bilden und jedes Jahr ihre Opfer an Thieren und Menschen heischen. Der Schnee ist somit nur ein Accidens; wären die von der Cyklone befallenen Flächen mit Sand, statt mit Schnee, bedeckt, so würde man einen Sandsturm, ähnlich demjenigen der afrikanischen Sandebenen, beobachten. Im äussersten Norden Asien's, bei Ustjansk, sind die herrschenden Winde Monsune von grosser Reinheit [77].

o) **Indien und Innerasien.** Blanford's Hauptresultate betreffs der vorderindischen Windbeziehungen drängt Supan in die nachstehenden Sätze zusammen [78]: „Im Winter nimmt der Luftdruck gegen den Aequator zu ab und bewirkt eine polare Strömung vom Lande gegen das Meer, die in den Ebenen des Pendschab, Ober- und Centralindien's und Assam's, vielleicht auch am Südabhange des Himálaya, ihren Ursprung hat und die grossen Thäler entlang einerseits zum arabischen Meere, andererseits zum Busen von Bengalen abfliesst. Kalmen sind im Inneren (wohl auch auf dem Plateau von Dekhan) sehr häufig." Hiedurch sind Dove und Mühry widerlegt, welche beide die ostindischen Winde grossentheils nach Centralasien zurückverfolgen zu können vermeinten. Hinterindien liegt ganz im Monsungebiete; die Grenze zwischen den beiden im Archipel auftretenden Monsunsystemen mag etwa bei Amboina liegen [79]. Das innere Asien, über welches Prshewalski und Wojeikoff Licht verbreitet haben, hängt also mit Indien nicht in dem früher geglaubten Maasse zusammen, doch ist der im Sommer vorherrschende Südost immerhin noch eine indirekte Konsequenz des Monsuns. Kalmen giebt es in Tibet und Turkestan viele, wenn auch nicht mehr so viele, wie in Sibirien. Die grosse meteorologische Axe Wojeikoff's setzt sich auch nach Turkestan hinein noch fort; welche Scheidung der Winde (in nördliche und in südliche) durch dieselbe herbeigeführt wird, ist uns bekannt. Die Umgegend des kaspischen Meeres hat ausgesprochenen Landwind. — Dem Gangesthal sind in den Monaten März und April heisse Winde charakteristisch, deren Richtung mit jener des Flusslaufes übereinstimmt [80]. Dieselben wehen jedoch blos am Tage, nicht auch während der Nacht.

p) **Westasien.** Für Transkaukasien und Armenien sind wesentlich die zwischen Land- und Seewinden obwaltenden Beziehungen bestimmend [81]. Den armenischen Hochthälern gebricht es an rascher Cirkulation der dortigen Luft, dieselbe stagnirt, und es entsteht Windstille. Mesopotamien steht ebenso wie Arabien unter dem Einflusse des indischen, Kleinasien unter dem des mittelländischen Meeres.

q) **Australien.** Im Sommer ist das australische Windsystem ein selbstständiges, der Kontinent erhitzt sich, über ihm entsteht eine Depression, die Luft strömt allseitig von der See in's Land hinein, und das Buys-Ballot'sche Gesetz regulirt die Richtung dieser Luftströmungen. Im Winter beherrscht Nordaustralien der Monsun [82]. — Die ganze Küstenregion des Welttheiles ist heissen Winden ausgesetzt, auf welche von Neumayer und Hann [83] das Augenmerk der Witterungskundigen gelenkt ward. Diese Winde wetteifern an erhitzender Wirkung mit dem ägyptischen Chamsin; am stärksten wehen sie in dem Intervall November bis Januar.

r) **Südamerika.** Im Grossen und Ganzen ist die Variation des barometrischen Minimums und damit der Wechsel der Windrichtungen für diesen Erdtheil dieselbe, wie für Südafrika, soweit nicht die Cordillerenkette die Luftverbindung der beiden Oceane aufhebt. Hiernach muss man von einander sondern die Westabdachung und die Ostabdachung [84] der Anden. Erstere zerfällt wieder in vier Zonen: Die patagonische mit beständigen Aequatorialwinden, die chilenische, in welcher die warme Jahreszeit Polar-, die kalte Aequatorialwinde hat, die von kontinuirlichen Polarströmen durchzogene peruanische und die feuchte Aequatorialzone mit West-Nordwestwinden. Weit weniger klar liegen die Dinge im Osten, wo während des Sommers Paraguay als Windscheide zu wirken scheint.

s) **Mittelamerika und Mexiko.** Im Winter regiert der Nordost-Passat. In Westindien bewährt sich die Gültigkeit von Dove's Regel [85].

t) **Nordamerika.** Aus Coffin's Werk erhellt [86], dass dieser Kontinent im Winter zwei Gürtel hohen Luftdruckes aufweist. Im Uebrigen sind fünf anemographische Gebietstheile zu erkennen, nämlich I. das atlantische Küstengebiet bis hin zu den Alleghanies, II. der Längsstreifen zwischen diesem Gebirgszuge und dem Mississippi, III. der Streifen zwischen Mississippi und Felsengebirge, IV. die pacifische Küste, V. das polare Nordamerika. In Gebiet I steigert sich die Frequenz der Aequatorialwinde mit sich vermindernder Breite, bis endlich im Süden das reine Verhältniss von Land- und Seewind sich offenbart. Auch in Gebiet II sind die Aequatorialwinde die vorherrschenden [87], besonders in Tennessee und Ohio. Je mehr man in Gebiet III der eigentlichen Prairieregion sich nähert, umso häufiger werden die Polarwinde, doch stehen unter ihrem Einflusse die Staaten Arkansas und Texas nur den Winter über [88], während im Sommer ein mächtiger Luftstrom vom Golfe herkommt. Im Winter Columbia's treten die ersten Anzeichen pacifischer Südwestwinde hervor, doch dringt Gebiet IV im Allgemeinen nicht sehr tief in's Binnenland ein [89]. Alaska's Winde pflegen häufig und unregelmässig umzuspringen; die Erforschung des früher russischen Ländertheiles lässt aber noch viel zu wünschen übrig. Gebiet V ist im Winter von Nordwestwinden heimgesucht. Die Südwestwinde des Ostens der Union sind noch an der Jamesbay, die Ausläufer der Süd- und Südostwinde des Mississippi- und Missourithales sind noch am Winipeg und am oberen Mackenzie nachweisbar [90].

u) **Atlantischer Ocean.** Nach Brault begegnen wir im Nord- und Südabschnitte des Atlantik zwei im Sommer mehr, im Winter weniger ausgedehnten Anticyklonen mit weit geringerer jahreszeitlicher Verschiebung, als auf Maury's Autorität hin angenommen worden war [91]. Hienach kann man unterscheiden: I. eine nördliche Zone der Westwinde zwischen 65° und 30° Norderbreite, II. eine eigentliche Passatzone zwischen 30° Norder- und 35° Süderbreite, III. eine südliche Zone der Westwinde, welche etwa vom 60. Parallel der Südhalbkugel begrenzt wird.

v) **Stiller Ocean.** Die pacifischen Luftströmungen weichen von den atlantischen in vier Hauptpunkten ab [92]. Erstens nämlich ist zu beachten der Monsunwechsel nördlich des 25. Breitengrades, zweitens

der australische Monsun, drittens der südasiatische Monsun und viertens die Bifurkation des Südostpassates durch eine Zunge rückkehrenden Passates, deren Axe die Richtung Südost-Nordwest einhält.

w) **Indischer Ocean.** Er zertheilt sich in gleichfalls vier Hauptwindgebiete [93]: Die nordäquatoriale Monsunzone, das südäquatoriale Monsungebiet, die Passatzone und die Zone der Westwinde.

x) **Antarktische Länder.** Nach Ross gewinnen jenseits des 65. Parallels im Sommer polare und östliche Winde die Oberhand; um den Pol herum lagert sich eine Anticyklone [94]. —

Somit glauben wir unsere Aufgabe, die Gesammtoberfläche der Erde anemographisch zu skizziren, gelöst zu haben. Wenn die Meere etwas kurz wegzukommen scheinen, so erinnere man sich, dass die regelmässigen Windsysteme ja schon im sechsten Kapitel ihre Erörterung gefunden haben.

§. 5. **Allgemeine Charakteristik der Hauptklimate.** In seinem trefflichen Werke, welches durch die Fülle der beigebrachten Details sich auszeichnet, hat Hann auch dafür gesorgt, durch generelle Schilderungen die Gefahr eines Versinkens in Einzelheiten abzuhalten. Drei meisterhafte Abschnitte sind den klimatischen Verhältnissen der Tropenzone [95], der gemässigten Zone [96] und der kalten Zone [97] gewidmet. Dieser Paragraph ist ein Auszug aus den betreffenden Abschnitten.

a) **Das Tropenklima.** Grundzug desselben ist eine grosse Regelmässigkeit, ein Zurücktreten jener unperiodischen Witterungserscheinungen, welche zum Sonnenlaufe in keiner Beziehung stehen. Was Peschel mit Unrecht für die ganze Erde vorgeschlagen hatte [98], Identificirung von Klima und Wetter, das lässt sich für die Tropenzone allerdings durchführen. Der Gradient der Isothermen ist klein, die normale Distanz dieser Kurven also gross. Ungemein fühlbar macht sich allenthalben die starke Sonnenstrahlung. Gleichwohl kann man sagen, dass das Klima ein ziemlich stark ausgeprägtes oceanisches ist, was ja auch bei der Vertheilung von Land und Wasser nicht wohl anders sein kann. Die Luftströmungen kommen vorwiegend aus Osten — man denke an das hiefür klassische Land Bornu —, und im Allgemeinen erhält die Luft der tieferen Schichten ein Gefälle gegen den Aequator hin (Passate). Neben ihnen spielen die Land- und Seewinde, denen in gewissem Sinne auch die Monsune zuzurechnen sind, eine grosse Rolle. „Mit dem zeitweiligen oder gänzlichen Aufhören des sonst konstant wehenden Passates oder mit dem Eintreten des Sommermonsuns hängt das im Tropenklima wichtigste Ereigniss, der Eintritt der Regenzeit, zusammen." Viele Gegenden, welche dem Aequator benachbart sind, haben zwei mit dem Durchgang der Sonne durch's Zenit korrespondirende Regenzeiten, doch ist es irrig, anzunehmen, dass diese Gegenden einen rings um den Gleicher herumreichenden Gürtel erfüllten. Die Luftfeuchtigkeit ist in der tropischen Küstenregion, absolut wie relativ genommen, eine hohe, die Bewölkung bewegt sich in Extremen, so dass mehrere Monate fast gar keine, mehrere Monate wiederum nur schwere, finstere Wolken am Firmamente zu sehen sind.

b) **Das gemässigte Klima.** Es ist diess in Wahrheit ein sehr schlecht gewählter Name, denn Schwankungen der meteorologischen Elemente sind für die „gemässigten" Zonen an der Tagesordnung. Soweit allerdings das Wohlbefinden des Menschen von der Temperatur beeinflusst wird, trifft die Bezeichnung besser zu (vgl. Kap. I der neunten Abtheilung). Vorherrschend sind die Westwinde, welche uns auch die Sturmwirbel bringen und recht eigentlich das Wetter machen (Kap. VI, §. 10). Was das Studium der Witterungsverhältnisse in den gemässigten Zonen so schwierig macht, das ist die Abhängigkeit jener von Temperatur- und Druckvertheilung zwischen den Wendekreisen; nach Hann ist die Aufsuchung dieser Beziehungen „eine der wichtigsten nächsten Aufgaben der Meteorologie und der vergleichenden Klimatologie".

c) **Das kalte Klima.** Das zeitweise Fehlen jeder Bestrahlung, welches für die „Sphaera parallela" der Pole volle sechs Monate dauert *), und das sehr schiefe Einfallen der Sonnenstrahlen während des übrigen Jahres bestimmt die niedrige Allgemeintemperatur der Polarzonen. Die grösste Winterkälte ward allerdings bis jetzt in der Nähe des nördlichen Polarkreises angetroffen — von Hayes am Smithsund, von v. Middendorff in Sibirien —, doch liegt das Gebiet der niedrigsten mittleren Jahrestemperatur innerhalb der Polarkalotte selber. Immerhin kann die langwährende Insolation des „ewigen Tages" eine reiche, natürlich kurzlebige Vegetation hervorzaubern. An einzelnen Orten ward das beobachtet, was Dove eine Dämmerung der Wärme genannt hat. Lie Luftfeuchtigkeit ist zum Theile bedeutend und eine schlimme Plage für die Entdeckungsreisenden auf ihren Schlittenexpeditionen; dagegen ist die Luft des amerikanischen Polargebietes sehr arm an Wasserdampf. Niederschlagsmenge und Bewölkungsgrad sind im Verlaufe des Polarwinters sehr geringfügig, wenn man das Gestade und die Küsteninseln des relativ warmen, weil von Meeresströmungen durchzogenen nordeuropäischen Eismeeres ausnimmt. Dabei ist aber die Luft — selbst an klaren Tagen — stets mit feinen Eisnadeln („Diamantstaub") erfüllt. Der Polarwinter hat sich von je als ein schlimmer Feind den aus der Kulturwelt stammenden Eindringlingen gegenüber erwiesen, wie uns ganz neuerlich wieder die verunglückten Fahrten der „Jeanette" und des Lieutenants Greeley schrecklich vor die Seele geführt haben, der Polarsommer dagegen, der sich durch eine immer gleichbleibende Wärme auszeichnet, gilt mit Recht als sehr gesund.

[1] Wojeikoff. Die Klimate des Erdballes, insbesondere Russland's. St. Petersburg 1884. — [2] W. Köppen, Recension hiezu, Meteor. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 298 ff. — [3] Eberhard. Zur Klimatographie Koburg's und seiner Umgebung, Koburg 1856. — [4] Magener, Das Klima von Posen, Posen 1868. — [5] C. Lang, Das Klima von München nach 67jährigen Beobachtungen dargestellt, München

*) Dafür, dass die von Pytheas (I. Band, S. 6) zuerst wahrgenommene Thatsache einer zeitweiligen Versetzung der Sonne in die Klasse der Cirkumpolarsterne doch auch im Mittelalter anerkannt wurde, liefert einen sehr interessanten Beleg das von Doberentz edirte und kommentirte geographische Lehrgedicht des Rudolf von Hohenems (XII. Jahrhundert) [99].

1883; Ein Beitrag zur Klimatologie der schwäbisch-bayrischen Hochebene, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 18. Band. S. 150 ff. — [6] Bosser, Klima von Corfu, Janina und Smyrna, Schleswig 1876. — [7] Partsch, Beiträge zur Klimatologie der griechischen Halbinsel, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19. Band. S. 223 ff. — [8] Supan, Die Vertheilung der jährlichen Wärmeschwankung auf der Erdoberfläche, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 141 ff. — [9] Johnston, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Vol. VI. S. 561 ff. — [10] Supan, Die Vertheilung etc., S. 146. — [11] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 309 ff. — [12] Supan, Die Temperaturzonen d. Erde, Petermann's geogr. Mittheil., 1879. S. 349 ff. — [13] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 235. — [14] W. Köppen, Die Wärmezonen der Erde, Meteor. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 218. — [15] Wojeikoff, Vertheilung der Niederschläge, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 189 ff. S. 258 ff. — [16] Krümmel, Die Vertheilung der Regen in Europa, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde in Berlin, 13. Band. S. 97 ff. — [17] Hann, Bericht über die Fortschritte der geographischen Meteorologie, Wagner's geogr. Jahrbuch, 8. Band. Gotha 1881. S. 97. — [18] Augustin, Ueber den täglichen Gang des Regenfalles, Sitzungsber. d. k. böhm. Ges. d. Wissensch., 1881. S. 439 ff. — [19] Holzmüller, Eine Dampfmaschinen-Plauderei, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 15. Jahrgang. S. 486. — [20] Krümmel, Regentropfen von ausserordentlicher Grösse, Meteor. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 284. — [21] Raulin, Observations pluviométriques, Bordeaux-Paris 1876. — [22] Brocard, Carte des pluies en Algérie, Assoc. franç. pour l'avancement des sciences, séance du 18 avril 1881. — [23] v. Mollendorff, Die Regenverhältnisse Deutschlands, Görlitz 1855. — [24] van Bebber, Regentafeln für Deutschland, Kaiserslautern 1876; Die Regenverhältnisse Deutschland's, München 1877. — [25] Töpfer, Untersuchungen über die Regenverhältnisse Deutschland's, Görlitz 1884. — [26] Nachtigal, Das Klima von Kuka am Tsade in Bornu, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde in Berlin, 7. Band. S. 469 ff. — [27] Wojeikoff, Die Vertheilung etc., S. 259 ff. — [28] Ibid. S. 193. — [29] Lochtin-Kohn, Die jetzige Lage der Amu-Niederung, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 237 ff. — [30] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878. S. 189. — [31] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1880. S. 273. — [32] van Bebber, Die Regenverhältnisse Deutschl., S. 50. — [33] Ibid. S. 72 ff. — [34] Supan, Statistik der unteren Luftströmungen, Leipzig 1881. — [35] Coffin, The winds of the globe, Washington 1875. — [36] Hellmann, Die Winde von Norddeutschland, Mittheil. d. k. preuss. statistischen Amtes, 34. Heft. — [37] Toynbee, On the physical geography of the part of the Atlantic, wich lees between 20° N. and 20° S., and extents from 70° to 40° W., London 1876. — [38] Brault, Étude sur la circulation atmosphérique de l'Atlantique nord, Paris 1877. — [39] Blanford, The winds of Northern India in relation to the temperature and vapour-constituant of the atmosphere, Proceed. of the Royal Society, 1874. Nr. 150. [40] Supan, Statistik etc., S. 166. — [41] Ibid. S. 40 ff. — [42] Curman, Om klimat och bad vid Sveriges vestkust, Stockholm 1879. — [43] Hann, Handbuch etc., S. 714. — [44] Ibid. S. 719. — [45] Supan, Statistik etc., S. 56. — [46] Ibid. S. 58 ff. — [47] Hann, Handbuch etc., S. 436. — [48] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara; Stationen eines Naturforschers, deutsch von Vogt, Jena 1872. S. 135 ff. — [49] Grad, Essais sur le climat des Vosges et de l'Alsace, Mülhausen 1870. — [50] Grube, Geographische Charakterbilder, 1. Band, Leipzig 1855. S. 147. — [51] Supan, Statistik etc., S. 82 ff. — [52] Ibid. S. 86. — [53] Umlauft, Die Koschava, der Aequinoktialwind Ungarn's, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 330 ff. — [54] Supan, Statistik etc., S. 92 ff. — [55] Maclaren, The plains of Troy described, Edinburgh 1863. S. 215. — [56] Schliemann, Ilios, Stadt und Land der Trojaner, Leipzig 1883. S. 101. — [57] Supan, Statistik etc., S. 106. — [58] Ibid. S. 109 ff. — [59] Hann, Handbuch etc., S. 439. — [60] Dove, Ueber Eiszeit, Föhn und Scirocco, Berlin 1867. — [61] Hann, Handbuch etc., S. 438. — [62] Supan, Statistik etc., S. 115 ff. — [63] Hann, Handbuch etc., S. 440. — [64] Ibid. S. 441. — [65] Supan, Statistik etc., S. 122 ff. — [66] Nachtigal, Das Klima etc., S. 468. — [67] Zöppritz, Bemerkungen über W. v. Zichy's meteorologische Beobachtungen und Höhenbestimmungen, Petermann's geogr. Mittheil., 1872. S. 136. — [68] Supan, Statistik etc., S. 128 ff. — [69] Stanley, Durch den dunklen Welttheil, 2. Band, Leipzig 1878. S. 335. — [70] Hann, Handbuch etc., S. 441. — [71] Ibid. S. 443. — [72] Ibid. S. 255. — [73] Supan, Statistik etc., S. 131 ff. — [74] Ibid. S. 134 ff. — [75] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1880. S. 76. — [76] Hann, Handbuch etc.,

S. 518 ff. — [77] Ibid. S. 728. — [78] Supan, Statistik etc., S. 140 ff. — [79] Ibid. S. 146 ff. — [80] Hann, Handbuch etc., S. 292. — [81] Supan, Statistik etc., S. 148 ff. — [82] Ibid. S. 150 ff. — [83] Hann, Handbuch etc., S. 638 ff. — [84] Supan, Statistik etc., S. 153 ff. — [85] Ibid. S. 157 ff. — [86] Ibid. S. 160 ff. — [87] Ibid. S. 172 ff. — [88] Ibid. S. 182 ff. — [89] Ibid. S. 192 ff. — [90] Ibid. S. 196 ff. — [91] Ibid. S. 201 ff. — [92] Ibid. S. 226 ff. — [93] Ibid. S. 258 ff. — [94] Ibid. S. 276. — [95] Hann, Handbuch etc., S. 377 ff. — [96] Ibid. S. 2. — [97] Ibid. S. 698 ff. — [98] Ibid. S. 743 ff. — [99] Doberentz, Die Erd- und Völkerkunde in der Weltchronik des Rudolf von Hohenems, Zeitschr. f. d. Phil., 13. Band. S. 195.

Kapitel IX.

Säkuläre Schwankungen des Klima's.

§. 1. **Thatsachen, durch welche solche Schwankungen wahrscheinlich gemacht werden.** Es ist eine allgemeine und in weite Volkskreise sich verzweigende Ueberzeugung, dass das Klima eines Landes oder sogar der klimatische Gesammtzustand der Erde nicht zu allen Zeiten derselbe, sondern beträchtlichen Schwankungen ausgesetzt sei. Seit geraumer Zeit sind die Gelehrten bemüht, reelle Gründe für das Bestehen solcher Aenderungen aufzusuchen, und dieses Bemühen ist nicht erfolglos geblieben, wenn auch nicht in der vielfach gemuthmassten Ausdehnung. Soviel konnte allerdings bei aufmerksamem Zusehen nicht verborgen bleiben, dass dereinst einmal eine niedrigere Gesammttemperatur geherrscht haben musste, freilich lange vor unseren historischen Zeiten. Pilar stellt einige der sprechendsten Belege für diese Annahme zusammen [1]. Die organischen Ueberreste der jüngeren Ablagerungen sprechen für eine frühere Verschlechterung des Klima's. Die Knochen von Thieren (Murmelthier, Schneekauz), die jetzt nur noch dem eigentlichen Hochgebirge angehören, werden tief unten in Höhlen gefunden. Heer glaubt auch annehmen zu dürfen [2], dass die Alpenflora in der Vorzeit überall in die Tiefebenen hinabreichte, wie denn die den Alpen- und Polargegenden gemeinsamen Arten nur durch eine frühere Verbindung erklärt werden könnten. Auch die Fauna im britischen und adriatischen Meere weist Ueberbleibsel einer arktischen Fauna auf. Alles diess würde jedoch zu einem exakten Beweise nicht hinreichen, wenn es nicht einer Theildisciplin der allgemeinen Geologie, welche man mit vollem Rechte als die „glaciale" bezeichnet, gelungen wäre, ganz triftige Belege dafür aufzufinden, dass ein ganz unverhältnissmässig grösserer Theil der Erdoberfläche, als es heute der Fall ist, mit Eis überzogen oder vergletschert war. Wir gehen auf diese Beweise jetzt nicht näher ein, weil dieselben in Kap. III der achten Abtheilung ohnehin zur Sprache zu kommen haben, und weil es uns an dieser Stelle einzig darauf ankommen kann, die meteorologischen Vorbedingungen klarzustellen, durch welche eine solche Periode der Vereisung, die sogenannte Eiszeit, möglich gemacht wurde. Erst nachdem wir uns mit dieser beschäftigt haben, können wir der noch weit schwierigeren, weil noch weit weniger direkte Anhaltspunkte bietenden Frage

näher treten, ob seit dem Beginne menschlicher Geschichtschreibung die uns aus Kap. VII bekannten klimatischen Faktoren eine nennenswerthe und des Nachweises fähige Aenderung erlitten haben. Bei der Erörterung dieser beiden Fragen können wir reichlich schöpfen aus den bezüglichen Monographieen von Sartorius v. Waltershausen [3], v. Czerny [4] und Polluge [5], welch' letztere selbst jedoch sich vielfach auf zwei der vorzüglichsten Arbeiten auf dem Gebiete der vergleichenden und geschichtlichen Klimatologie, nämlich auf diejenigen Theobald Fischer's [6], stützt. Für die spätere Zeit dagegen wird unser hauptsächlichster Führer Dufour [7] sein, dessen bezügliche Arbeit wir zu unserer Verwunderung von meteorologischen Schriftstellern weit seltener citirt finden, als man nach deren Bedeutung zu erwarten berechtigt wäre.

§. 2. **Die Eiszeit.** Wenn wir nach den Ursachen der Eiszeit forschen, so ist die Aufgabe ersichtlich in eine doppelte, in eine näher- und in eine fernerliegende, zu zerlegen. Die erstere lautet: Wie mussten Luftwärme und Feuchtigkeitsverhältnisse beschaffen sein, um eine solch' ungewöhnliche und nach unseren heutigen Begriffen nur den Cirkumpolarländern zukommende Ausdehnung des Eises zu ermöglichen? Die zweite lautet: Welche tellurische oder auch kosmische Veränderungen standen im Hintergrunde, als die klimatischen Faktoren sich in der angegebenen Weise bethätigten? In diesem Paragraphen soll nur die erste Frage daran kommen, aus deren Diskussion ja auch schon für die andere einige Aufklärung zu erhalten sein wird. Jedenfalls wollen wir aber, um uns vor Täuschungen und Uebertreibungen zu hüten, nicht den Grundsatz vergessen, dass ein anomaler Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre auch bei minimaler Modifikation der Allgemeintemperatur viele Glacialphänomene zu erklären vermag.

Hierauf hingewiesen zu haben, ist vornehmlich das Verdienst Wojeikoff's [8], vor dessen Auftreten man wohl etwas allzukühn mit gigantischen Temperaturdepressionen operirt hat. Der russische Forscher führt uns die Analogie Neuseeland's und Patagonien's vor, wo heute noch mächtige Gletscher, an ihren Seiten theilweise von üppigem Pflanzenwuchse umsäumt, bis an das Meer hinabreichen, während doch die mittlere Jahrestemperatur eine ziemlich hohe ist; er verweist auf die uns aus dem vorigen Kapitel bekannten Orte Ostasien's mit expressiver Winterkälte, die es trotzdem nicht zur Gletscherbildung bringen. Die südliche Hemisphäre bietet uns vielfach kühle Sommer, relativ milde Winter, grosse Niederschlagsmengen und dichte, für die Sonnenstrahlen undurchdringliche Nebel, und überall da, wo diese Vorbedingungen zusammentreffen — wie z. B. auf der Kerguelen-Insel mit einer Mitteltemperatur von $+ 4^0$ —, begegnen wir enormer Gletscherentfaltung. Dass dergleichen auf unserer Hemisphäre erst weiter im Norden eintritt, so in Spitzbergen und in dem — durch Nordenskiöld's Expedition als eine wahre Gletscherwüste erkannten — Grönland, das ist einfach den warmen Meeresströmungen zuzuschreiben. Auch Innerasien liefert Beispiele für die Wichtigkeit der Rolle, welche bei jeder Vergletscherung die Feuchtigkeit der Luft zu

spielen berufen ist. Am Westabhange des Pamir giebt es Gletscher, weil dort in grösseren Höhen auch der Schneefall ein beträchtlicher ist, östlich davon vermögen sich bei der dort herrschenden Trockenheit nur kleine Schneefelder zu erhalten. In Nordchina und in der Mongolei ist zwar die Trockenheit keine so grosse, dafür aber hindert dort der Einfluss der periodisch wehenden Winde die Entstehung von Gletschern. Man darf aus dieser Sachlage den Schluss ziehen, dass Ostasien auch damals eisfrei war, als Europa fast durchaus eine Eisdecke trug, und in der That ist durch v. Richthofen und Fr. Schmidt in China und den Amurländern keine Spur einstmaliger Vereisung nachzuweisen gewesen, in Sibirien aber erst in Gegenden von weit geringerer Durchschnittstemperatur.

Dass immerhin natürlich auch im westlichen Europa die Jahreswärme zur Eiszeit eine geringere gewesen sein muss, als gegenwärtig, will Wojeikoff nicht leugnen; die sonstigen klimatischen Verhältnisse dieser Erdgegend erkennt er als der Eisbildung im Grossen förderlich an [9]. Dass diese letztere in Nordamerika besser von statten gehen konnte, als in Asien, während doch sonst beide Kontinente sich recht ähnlich verhalten, ist durch das Fehlen der Monsune und durch die Nähe des reiche Niederschläge liefernden mexikanischen Golfes genugsam erklärt. Die Wärmeveränderungen, welche durch das Gebunden- und Freiwerden der Wärme bedingt sind, verdienen umsichtigste Berücksichtigung; würden doch die dem solaren Klima entsprechenden Temperaturen hoher Breiten weit mehr mit der Wirklichkeit übereinstimmen, wenn nicht so viel Wärme zum Schmelzen von Schnee und Eis verwendet werden müsste; das gletscherreiche Grönland und das gletscherarme Island können diess Verhältniss versinnlichen.

Wojeikoff stellt zum Schlusse seiner Untersuchung siebzehn Sätze auf, mit denen er die Bedingungen einer über grosse Erdräume sich erstreckenden Gletscherentwickelung charakterisirt. I. Das Wasser mildert die Gegensätze der Temperatur in Raum und Zeit; II. von der grossen Wärmekapacität jener Flüssigkeit abgesehen, hat man auch auf die mit den Aenderungen des Aggregatzustandes verknüpften Umsetzungen von mechanischer Arbeit in Wärme und umgekehrt Bedacht zu nehmen; III. die temperaturmildernde Wirkung ist bei den Meeresströmungen intensiver, als bei den Winden; IV. doch helfen auch die Winde dazu, die Temperatur der Meeresströmungen weiter zu verbreiten; V. die Meeresströme danken ihre Entstehung den Winden*); VI. am wichtigsten sind wegen ihrer Beständigkeit die Passatwinde; VII. das Hineinwehen des Südostpassates in die Nordhemisphäre befördert in dem Atlantik und Pacifik viel wärmeres Wasser nach Norden; VIII. dieser Umstand bedingt das Temperaturübergewicht der Nordhalbkugel über den äquatorialen Theil der Südhalbkugel**); IX. dieses Uebergewicht manifestirt sich

*) Diesen Satz führen wir hier nach unserer Vorlage nur historisch an und behalten uns seine Erhärtung für das von den Meeresströmungen handelnde Kapitel der nächsten Abtheilung vor, dessen Fundamentaltheorem er bildet.

**) Wir geben diese achte und ebenso die zehnte These in einer weit eingeschränkteren Form wieder, als Wojeikoff dieselben aussprach, weil wir uns in ihrer Allgemeinheit nicht mit ihnen einverstanden erklären können.

besonders auf dem freien Meere und an den Westküsten der Kontinente; X. das der Südhalbkugel entzogene warme Wasser hat die Rückwirkung, dass eben der äquatoriale Theil jener Halbkugel verhältnissmässig sehr kalt ist; XI. die grosse Ausdehnung der Meere südlich von 40° lat. austr. begünstigt Entstehung und Entfaltung der Gletscher, und auf den grossen Meeren herrscht eine mittlere Temperatur von circa 0°, welche der Vereisung besonders günstig ist; XII. dagegen können sich in unseren Breiten kompakte Eismassen minder leicht bilden, weil über den durch Ströme erwärmten Oceanen bis in sehr nördliche Gegenden hinauf mehr Regen als Schnee zu fallen pflegt; XIII. insbesondere gilt das für Hochasien, wo auch während der eigentlichen Eiszeit Gletscher in grösserem Maassstabe nicht existirt zu haben scheinen; XIV. in Westeuropa muss während der Eiszeit die Mitteltemperatur um mehrere Grade niedriger gewesen sein, als sie heutzutage ist, und gewisse Gegenden Südrussland's, welche stets ohne Wasser- und Eisbedeckung waren, müssen damals wärmer gewesen sein, als jetzt die argentinischen Pampas; XV. einer ungewöhnlich grossen Gletscherentwickelung muss ein Untertauchen von Land vorhergegangen sein; XVI. die wechselnden Excentricitätsverhältnisse der Erdbahn können eine Erklärung für die Aenderung des Charakters der Jahreszeiten liefern; XVII. allgemeine Eisbedeckungen, welche vom Pole aus bis zum 45. Breitengrade sich erstreckt hätten, haben wir kein Recht anzunehmen, da grosse Meere überhaupt nicht gänzlich zugefrieren, und da das trockene Kontinentalklima gleichfalls der Gletscherbildung nicht günstig ist, so dass eisfreie Meere und eisfreie Landflächen der Regel nach zusammen vorkommen werden.

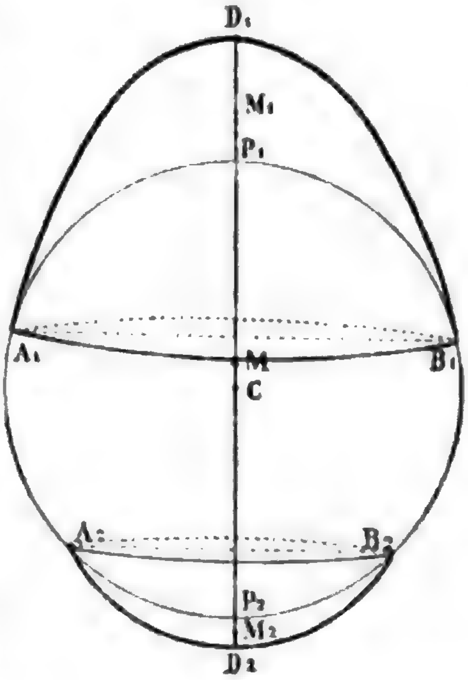
Neuerdings hat Penck auf ein Moment aufmerksam gemacht, welches zu der siebzehnten These Wojeikoff's in enger Beziehung steht [9]. Er behauptet nämlich: Ausgedehnte Vergletscherungen sind an das Vorhandensein eines Festlandes gebunden. Penck's überzeugende Schlüsse haben nur das Eine gegen sich, dass sie zur Verwerfung der von H. Wagner und Krümmel für das antarktische Land angesetzten Arealwerthe nöthigen.

§. 3. **Ursachen der Eiszeit.** Den allgemeinen Komplex von Ursachen, deren Zusammenwirken die sogenannte Eiszeit bedingen konnte, hat, wie wir sahen, Wojeikoff in mustergültiger Weise umschrieben. Es kann sich nunmehr nur noch darum handeln, zu prüfen, ob unser Wissen auch jene Momente schärfer zu fixiren im Stande ist, durch welche gerade die uns bekannte Eiszeit entstehen musste. Diese Momente können sowohl kosmischer, als auch tellurischer Natur sein; für die ersteren ist auf §. 9 des vierten Kapitels unserer zweiten Abtheilung zu verweisen, wo dieselben bereits der Besprechung unterzogen worden sind. Speziell kommen drei kosmische Hypothesen in Frage, welche sämmtlich in der sechzehnten These von Wojeikoff ihren Vereinigungspunkt finden *).

*) Wenn die hier gegebene Schilderung als eine zu summarische erscheinen sollte, so darf der Verf. wohl auf die in seiner Monographie „Aeltere und neuere Hypothesen über die chronische Verrückung des Erdschwerpunktes“ [10] gegebene eingehende Kritik all' dieser kosmologischen Spekulationen hinweisen. Mit v. Schleinitz [11] glaubt er ferner alle jene einst zahlreichen Theorieen (I. Band,

a) **Die Hypothese von Adhémar.** Dieselbe erwarb damals, als ein tüchtiger französischer Mathematiker sie aufstellte [12], eine zahlreiche Anhängerschaft, und insbesondere sind Julien [13] und Le Hon [14] noch in späterer Zeit mit Feuereifer für sie eingetreten. Damals, als die variable Excentricität der Erdbahn einen besonders grossen Werth hatte, musste jene Halbkugel, deren Winter in die Sonnenferne fiel, einen besonders kalten Winter haben; um den Pol jener Halbkugel herum bildeten sich immer kompaktere Eismassen, und diese Eishaube bewirkte, dass der Schwerpunkt des Erdkörpers aus seiner normalen Lage heraus- und gegen die Eishalbkugel hin verschoben wurde. Fig. 61 stellt uns diese Verhältnisse, so wie sie sich Adhémar dachte, vor das Auge. C ist der strenge genommen mit dem Kugelcentrum zusammenfallende Erdschwerpunkt, P_1 der für die Eisablagerung günstige, P_2 der entgegengesetzte Pol. Ueber P_1 lagerte sich die Eiskalotte $A_1 B_1 D_1$, deren grösste Mächtigkeit durch $P_1 D_1$ bezeichnet ist; über P_2 lagerte sich die Eiskalotte $A_2 B_2 D_2$ mit der geringeren Mächtigkeit $P_2 D_2$. Wenn M_1 und M_2 die Schwerpunkte der beiden Eisbedeckungen sind, so kann offenbar der Gesammtschwerpunkt des Körpers $A_1 D_1 B_1 B_2 D_2 A_2$ nur so lange mit C zusammenfallen, als $P_1 M_1 = P_2 M_2$ ist; da aber Adhémar ausdrücklich $P_1 M_1 > P_2 M_2$ voraussetzt, so muss der Gesammtschwerpunkt etwa nach dem in der Figur durch M bezeichneten Punkte hinrücken. Diese Verschiebung soll aber weiter bewirken, dass die Meere eine Tendenz erhalten, gegen die Eishalbkugel hinzufluthen, so dass, wenn nur einmal für eine bestimmte Halbkugel der Anfang zur Vergletscherung gemacht ist, weiteres Material ganz von selber geliefert würde. Die Dauer des Zeitraumes, für welchen eine bestimmte Halbkugel mit den für die Gletscherbildung vortheilhaften Bedingungen ausgestattet erscheint, würde aus astronomischen Gründen 10 500 Jahre betragen; damals, als die europäisch-nordamerikanische Halbkugel vereist war, war P_1 mit dem Nordpol, gegenwärtig ist P_1 mit dem Südpol identisch. Julien will sogar den Termin genau fixiren, an welchem die nördliche von der südlichen Hemisphäre abgelöst wurde: „d'après ce que nous avons déjà pu constater sur les causes qui déterminent l'inégale durée des saisons et la différence de température dans les deux hémisphères, nous devons donc conclure que c'est au milieu du treizième siècle qu'ont appartenu les plus courts hivers de nos contrées; et que c'est à la même époche, par suite, que les glaciers polaires ont été le plus inégalement surchargés" [15]. Mag man hierüber auch

Fig. 61.



S. 213 ff.), welche von einer plötzlichen Lageänderung der Erdaxe heftige klimatische Störungen erzeugen liessen, als durch Le Comte und Saporta widerlegt und als durch die Ergebnisse der Petrefaktenkunde einfürallemal abgethan erachten zu dürfen.

denken, wie man will, so muss man es doch jedenfalls als eine Utopie bezeichnen, wenn der nämliche Gelehrte [16] aus den Berichten eines Strabon, Diodor, Dio Cassius und mittelalterlicher Autoren eine Aenderung des Klima's gerade bis zu jenem Termin — d. h. gegen das Jahr 1248 n. Chr. — und von diesem wieder ab zu folgern unternimmt. — Gegen Adhémar spricht, von anderem*) abgesehen, besonders der Umstand, dass die Strecke CM der Figur selbst dann, wenn man die Differenz ($P_1 D_1 - P_2 D_2$) weit grösser annimmt, als sie der Natur der Sache nach füglich sein kann, doch zu winzig ausfällt, als dass man von ihr so gewaltige Wirkungen erwarten könnte. Der Verf. hat die den Beweis für diesen Ausspruch liefernden Formeln bei früherer Gelegenheit gegeben [17]. Wir müssen uns deshalb gegen Adhémar's Lehre erklären, obwohl Pilar [18] deren gute Seiten wieder sehr stark betont und auch den Planeten Mars als Vergleichsobjekt herangezogen hat [19]. Wenn Pilar insbesondere betont, schon die vom Sonnenstande abhängige variable Begrenzung des Kalmengürtels spreche für die Wahrscheinlichkeit kosmischer Einflüsse, so bemerken wir, ohne die Richtigkeit des Satzes selbst bestreiten zu wollen, dass (s. o.) Hann's Untersuchungen die Beziehungen jener Variabilität zum Sonnenlaufe auf ein sehr geringfügiges Maass herabgedrückt haben**).

b) **Die Hypothese von Croll.** Als eine Modifikation derjenigen von Adhémar, jedoch auch zugleich als eine entschieden verbessernde Umgestaltung derselben kann die Hypothese Croll's gelten, welche von ihrem Autor zuerst in zahlreichen Artikeln des „Philosophical Magazine" vertheidigt, dann aber auch in einem besonderen Werke [21] ausführlich erörtert wurde. Mit Adhémar glaubt Croll, dass sich der Schwerpunkt nach der in Vergletscherung befindlichen Halbkugel hin verschiebe, auf der letzteren werde das Meer steigen und das Land sinken, während sich auf der anderen Halbkugel Alles umgekehrt verhalte. Doch weicht Croll, und hierin erblicken wir den entschiedenen Vorzug seiner Auffassung, darin von Adhémar ab, dass er weniger ein Hinabströmen sämmtlicher Erdgewässer auf die vereiste Seite, sondern wesentlich nur eine tiefgreifende Aenderung in Lage und Richtung der gewöhnlichen Meeresströmungen zu Hülfe nimmt. Dass der englische Forscher auch von der Schwankung der Ekliptikschiefe bedeutende — wohl zu bedeutende — Einwirkungen erwartet, haben wir bereits im ersten Bande (S. 253) gesehen. Wyville Thomson's Urtheil [22] ist in der Hauptsache zu Gunsten Croll's ausgefallen, wogegen Fisher sich als Gegner desselben erklärt [23]. Fisher stützt sich dabei auf folgende von ihm entwickelte Formel:

$$\sqrt{\frac{S+A}{S+U}} = \frac{1+e}{1-e}.$$

Hierin bedeutet e die Excentricität der Erdbahnellipse, S die Temperatur des Weltraumes, A die Temperatur eines Ortes auf der Süd-

*) Wir meinen hiemit besonders das, dass Adhémar's Basis wesentlich auch das Dogma von der kalten Südhalbkugel war, von dessen Unhaltbarkeit uns das siebente Kapitel überzeugte.

**) Die Annahme v. Bruchhausen's [20], dass die über einem der Erdpole gebildete Gletscherhaube sofort auch zu einem neuen Attraktionscentrum für die umgebenden Meere werde, steht und fällt mit der weiteren und heute gewiss aufzugebenden Annahme, dass solche massive Eisschalen überhaupt existiren.

halbkugel im Januar, U die Temperatur eines unter der nämlichen Breite auf der Nordhalbkugel gelegenen Ortes im Juli. Da nun über S eigentlich gar nichts Genaues bekannt sei (I. Band, S. 92), so könnten Croll's Schlüsse nicht als irgend beweiskräftig anerkannt werden. Nach v. Czerny [24] soll Newcomb auf demselben verneinenden Standpunkte stehen. Wallace adoptirt zwar dieselbe astronomische Grundlage, auf welcher auch Adhémar und Croll fussen, spricht sich aber im Gegensatze zu Beiden dafür aus [25], dass während einer Periode grosser Erdbahn-Excentricität immer beide Hemisphären der Erde gleichzeitig vergletschert seien, wenn auch die glaciale Entwickelung nicht allenthalben gleichmässig fortgeschritten angenommen werden könne. Penck, dessen Kenntniss der Glacialerscheinungen ihn zu einem sehr kompetenten Richter macht, wirft die Frage auf [26], wie denn bei Anerkennung der Croll-Wallace'schen Hypothese die Thatsache zu erklären sei, dass im Augenblick die Uebereisung der Südhalbkugel eine so weit mächtigere ist, als diejenige der Nordhalbkugel, und er kommt zu der recht plausiblen Antwort, dass man im Sinne jener Hypothese sich bisher zu ausschliesslich an die Epochen excessiver Excentricität gehalten habe, dass wir aber gegenwärtig in einer Periode verhältnissmässig geringer Excentricität uns befänden, und dass für eine solche das Alterniren einer borealen und einer australen Vergletscherung das Natürliche sei. Will man überhaupt kosmischem Eingreifen das Wort reden, so dürfte zur Zeit die Croll'sche Hypothese mit den von Wallace und Penck angebrachten Zusätzen den Ansprüchen der exakten Forschung am meisten entsprechen, jedenfalls weit mehr, wie ihre nunmehr an die Reihe kommende Gefährtin.

c) **Die Hypothese von Schmick.** Dieser äusserst fruchtbare Schriftsteller hat seit fünfzehn Jahren nicht weniger als sechs grössere Schriften [27] erscheinen lassen, in welchen er die Grundgedanken seiner Lehre weiter ausführt. Auch bei ihm ist die variirende Excentricität der Erdbahn der in erster Linie ausschlaggebende Faktor. Nur kommt es ihm nicht darauf an, dass die Stärke der solaren Bestrahlung für die eine und andere Erdhalbkugel sich mit jener Schwankung gleichfalls periodisch ändert, er legt vielmehr das ganze Gewicht auf die Attraktion der Sonne, welche auf beide Hemisphären ungleich wirkt und so ein Ueberfluthen der begünstigteren Halbkugel zur Folge hat. Manche Autoritäten, unter denen wir v. Schleinitz, Wojeikoff, v. Hochstetter, Stahlberger nennen, haben sich, wenn auch mit Reserve, zu Gunsten dieser Auffassung vernehmen lassen, andere wieder, wie Peschel, Suess, Veltmann, Fr. Pfaff, kritisirten dieselbe in mehr oder minder scharfer Weise. v. Schilling meint [28], dass Schmick völlig vergessen zu haben scheine, wie jedes durch die Anziehung der Sonne emporgehobene Wasserquantum entsprechend an seinem Gewichte verliere; bei seiner Berechnung der Fluthpegelmessungen von Sidney, aus denen derselbe eben eine abnorme Hochfluth für die Südhalbkugel folgern zu können geglaubt hatte, habe Schmick ganz übersehen, dass die Fluth immer um einen grösseren Absolutbetrag steigt, als die Fluth fällt, dass also der Nullpunkt des Hafenpegels immer höher steht, als er eigentlich stehen sollte. Sehr eingehend wendet sich ferner Pilar gegen die Schmick'sche

Theorie [29]. Alle die von Jenem zu seinen Gunsten citirten Beispiele von säkulären Hebungen und Senkungen seien illusorisch, und zumal die behauptete Senkung der Adria sei nichts weniger als erwiesen, da gegentheils seit einem Jahrtausend für Venedig keine merkliche Niveauänderung eingetreten sei [30]*). Eine vernichtende Kritik erfuhr endlich die Gesammtheit der Schmick'schen Schriften durch Zöppritz [32]. Hier wird unwiderleglich gezeigt, dass in den früheren Publikationen Schmick's der doch jede Zenitwelle begleitenden Nadirwelle (Kap. IV der nächstfolgenden Abtheilung) wenig oder gar keine Rechnung getragen ward, und dass später umgekehrt seine Taxation der Fluthhöhen an grosser Uebertreibung litt. Analytische Fehler liefen ferner bei der Bestimmung der Gestalt des versetzten Wassermantels mit unter. Wir können nicht leugnen, dass sowohl geologische, als auch in noch höherem Grade mathematisch-physikalische Gründe jede — auch bedingte — Zustimmung zu der Lehre Schmick's unthunlich machen.

Ziehen wir das Facit aus diesen unseren Ueberlegungen, so liegt am Tage, dass wir eine absolut befriedigende Zurückführung der Eiszeitphänomene auf Einflüsse kosmischer Natur als noch ausstehend bezeichnen müssen. Dass solche vorhanden, ja bis zu einem gewissen Grade sogar recht wahrscheinlich sein können, soll damit keineswegs in Abrede gestellt werden, und speziell die von Hauer u. a. gegen jene aus dem Umstande hergeleiteten Gründe, dass die Eiszeit gar keine periodische Wiederkehr aufweise, sind durch die von Agassiz [33] aufgestellte Theorie einer mehrfachen Vergletscherung und durch die von Penck für diese in seinem wohlbekannten Werke [34] beigebrachten Beweise glacialgeologischer Natur**) als unhaltbar erkannt worden. Wir bekennen uns, da der Zweifel noch so manche zu beheben sind, zu v. Czerny's Schlusssatz [35]: „Würde sich bestätigen***), dass die geographischen Breiten von Greenwich, Washington, Paris, St. Petersburg, Königsberg, Mailand, Neapel und Rom sich gegenwärtig vermindern, und würden die mathematischen Formeln, wie etwa diejenigen von Haughton, uns gestatten, die auf diese Weise vor sich gehenden Veränderungen zu berechnen, dann würden wir auch hinreichend berechtigt sein, zu sagen, dass dort, wo irgend einmal auf der Erde der Nord- und Südpol gewesen, auch zugleich die Eiszeit geherrscht habe. So lange aber dieses interessante Räthsel noch seiner entscheidenden Lösung harrt, so lange sind wir auch darauf angewiesen, die einzige rationelle Ursache der sogenannten Eiszeit nur in den Veränderungen der tellurischen Bedin-

*) Auch die Bedeutung der aralo-kaspischen Einsenkung für seine Theorie scheint Schmick überschätzt zu haben, denn in Wirklichkeit erhebt sich, wie v. Tillo durch ein genaues Nivellement feststellte, der Spiegel des Aralsee's volle 58 Meter über denjenigen des schwarzen Meeres [31].

**) Wir werden diese wichtige Entdeckung im III. Kapitel der achten Abtheilung, welches sich näher mit den Beziehungen der Gletscher zu ihrem Untergrunde beschäftigt, noch besonders zu würdigen haben.

***) Es bezieht sich diese Bemerkung auf den von Schmick ernsthaft unternommenen Versuch, mittelst einer freilich unzureichenden und deshalb auch keine zuverlässigen Resultate in Aussicht stellenden Methode darzuthun, dass die Polhöhen keine konstanten, sondern schwankende Winkelwerthe seien (s. I. Band. S. 216), wie es allerdings aus seinen Ansichten über die Umsetzung der Oceane zu folgern wäre.

gungen des Klima's zu suchen.“ Und auch an solchen Bedingungen fehlt es nicht.

So bemerkt Pilar [36], dass Charpentier und A. Favre an eine dereinstige grössere Höhe der Alpen gedacht hätten, und in der That lässt sich dem, wenn man auch kein so sehr hohes Gewicht darauf legt, nicht wohl widersprechen, wenn man sich vorstellt, dass doch der jetzt über weite Landstrecken verstreute Moränenschutt irgend einmal vom Gebirge herabgekommen sein muss. Nachdem alsdann Lecoq und De la Rive sehr mit Recht auf die Feuchtigkeit als auf die prima causa der Eiszeit verwiesen hatten, brach sich jene Föntheorie Desor's und Escher's Bahn, deren Unhaltbarkeit sich uns bereits in §. 5 des sechsten Kapitels aufgedrängt hat. Frankland richtete [37] sein Augenmerk auf die bekanntlich grosse Wärmekapacität des Wassers: die Temperaturdifferenz zwischen Land und Wasser sei immerfort angewachsen und habe die immer reichlicher anwachsenden Niederschläge über den Kontinenten veranlasst. Warum aber liess dann die Intensität der Vergletscherung plötzlich nach? Die eigentlich nächst liegende Idee ward von Lyell [38] ausgesprochen, und es ward dieselbe dann auch von einer Anzahl berufener Fachmänner gebilligt, wie von Campbell, Dawson und Sartorius v. Waltershausen*). Hiernach gälte der Satz: Die Eiszeiten der Erde, welche niemals universelle, sondern stets nur nach Zeit und Verbreitung lokalisirte Erscheinungen gewesen sind, entstanden durch die von den geologischen Revolutionen der Vorzeit abhängigen Veränderungen der Grenzlinien zwischen festem und flüssigem Elemente und durch die wieder hievon abhängige Verschiebung der Isothermkurven, sowie der Luft- und Meeresströmungen. Gerade diesem letzten Gedanken sind auch Campbell und Blytt weiter nachgegangen; der zweitgenannte Forscher, den wir allerdings nach einem Referate [40] zu citiren genöthigt sind, zieht aus den Torfmoorbildungen den Schluss, dass auch nach der Eiszeit noch das Klima periodischen Aenderungen unterworfen gewesen sei, trockene und kontinentale Witterungsperioden hätten mit feuchten, insularen abgewechselt, je nachdem die wichtigsten Meeresströmungen an Mächtigkeit sich vergrössert oder vermindert hätten. Es bleibt uns dabei unbenommen, dieses alternirende Wachsen und Einschwinden der Ströme mit Blytt auf die variirende Lage der Apsidenlinie im Raume zurückzuführen oder es als ein Ereigniss für sich zu behandeln, das eben lediglich im Sinne Lyell's passend zu interpretiren wäre. Es ist freilich zu bemerken, dass gegen Blytt's Methode scharfe Angriffe von Cl. König in der Zeitschrift „Kosmos“ (II. Serie, 1. Band, S. 363 ff., S. 444 ff.) gerichtet worden sind, auf welche jedoch aus sachlichen Gründen besser in dem von den Torfmoorbildungen handelnden Abschnitte der neunten Abtheilung zurückzukommen sein wird. Ganz unabhängig hievon und mehr auf glacialgeologische Gründe sich stützend, hat aber auch der Amerikaner

*) Allerdings können wir es weniger billigen, wenn dieser verdiente Geologe zur Erklärung der von Nordenskiöld gemachten Wahrnehmung, dass noch zur Zeit der miocänen Formationen das Polarklima ein recht mildes gewesen sein müsse, an die damals noch kräftiger sich offenbarende Eigenwärme der Erde appellirt [39].

Whitney in seinem bedeutsamen Werke „The climatic changes: a discussion based on observations made in the Cordilleras of North America“ (Cambridge 1882) sich für eine nicht sowohl kosmische, als mehr blos lokale Ursache der Eiszeitphänomene ausgesprochen.

§. 4. **Veränderungen des Klima's in geschichtlicher Zeit.** Während wir es bislang mit einer Gruppe von Erscheinungen zu schaffen hatten, deren Deutung allerdings mit Schwierigkeiten verknüpft, deren Realität an sich jedoch über jeden Zweifel erhaben ist, begeben wir uns jetzt zu einer anderen Gruppe, für welche ganz andere Kennzeichen bestehen. Die Einen behaupten, dass auch während der unserer historischen Kontrole unterworfenen Zeiten das klimatische Gesammtbild der Erde und aliquoter Theile derselben seine Züge geändert habe, die Anderen bestreiten diess. Wir gedenken an diesem Orte die aus beiden Heerlagern stammenden Gründe einer Vergleichung und Besprechung zu unterziehen, erklären aber gleich zum Voraus, dass wir nicht umfassend zu sein beabsichtigen und zumal von den zahlreichen unwissenschaftlichen Hypothesenbildungen keine Notiz nehmen*).

Es war zuerst Arago, der in seiner, im achten Bande der gesammelten Werke wieder abgedruckten Abhandlung „Sur l'état thermométrique du globe“ der Frage näher trat. Durch Zusammenhalten der zeitgenössischen Berichte glaubte er sich zu der Folgerung berechtigt, dass für Palästina, Aegypten, Syrien und Griechenland sich seit der antiken Zeit die Durchschnittstemperatur nicht merklich geändert habe, wogegen in Frankreich die Sommer kälter geworden seien. E. Biot wies die ersterwähnte Thatsache auch für China nach [42]. Dove zeigte vermittelst der von 1770 an beginnenden Witterungsaufzeichnungen von Berlin und New-Haven [43], dass ein siebzigjähriger Zeitraum keine bedeutenden Oscillationen der Luftwärme ergeben habe. Es seien diesen gleich noch einige weitere Zeugnisse negativer Beschaffenheit angereiht. Man hatte beispielsweise zu finden vermeint, dass im Staate New-York und anderen östlichen Unionsstaaten die Regenmenge stetig abnehme, allein Draper führte den Nachweis [44], dass hier eine Selbsttäuschung vorliege. Auch widerlegte er die Volksmeinung, dass mit dem Fortschritte der Bodenkultur sich das nordamerikanische Klima mildere, durch den Hinweis auf die Eisverhältnisse der dortigen Flüsse, namentlich des Hudson (Kap. VII, §. 7). Das sorgfältig geführte Witterungstagebuch des Tycho Brahe ist von Lacour gründlich durchforscht worden, und es hat sich dabei herausgestellt, dass noch jetzt Bewölkungs- und Regenverhältnisse im Sunde ganz die gleichen sind, wie vor dreihundert Jahren [45]. Für die Westküste Grönland's, wie auch für Island, hat man einen chronischen Rückgang der Temperatur wahrscheinlich zu machen gesucht. Pilar (a. a. O.) wie auch v. Czerny treten dieser Ansicht bei, allein auf der anderen Seite hat wieder, nach Burmeister's Zeugniss [46],

*) So stellt z. B. der gelehrte, aber phantasiereiche und excentrische Philologe Krichenbauer in einem voluminösen Werke [41] die Ansicht auf, die von Odysseus besuchten Kimmerier hätten am Südpol gewohnt, der damals ganz von Eis befreit und eine Stätte üppigen Baumwachsthumes gewesen sei!

Steenstrup dieselbe mit guten Gründen zurückgewiesen, und auch A. Kirchhoff weist mit Berufung auf K. Maurer die Behauptung zurück, als sei hauptsächlich eine Klimaverschlechterung an der Entvölkerung der grönländischen Kolonie schuld gewesen. Die dortigen Normannen scheinen weniger dem Klima, als den Angriffen der feindlichen Skälinger (Eskimo's) erlegen zu sein [47]. Aus einem von J. Gesner Anno 1747 gehaltenen Vortrage geht endlich hervor, dass die mittlere Niederschlagsmenge seit einem Jahrhundert sich in der Nordschweiz nicht geändert hat [48].

Umfangreicher ist allerdings die Anzahl von Belegen für die entgegengesetzte Annahme. Fritsch und K. G. Zimmermann, denen sich später noch Galton anschloss, wiesen für verschiedene Welttheile, besonders aber für Afrika, auf eine Abnahme der Niederschlagsmengen und eine Aenderung der Lufttemperatur hin [49]. Hamilton stellte gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts die Anschauungen einer Anzahl von Ackerbaukundigen zusammen und kam durch diese Vergleichung zu der Ansicht, dass Grossbritannien's Klima sich immer unvortheilhafter für Agrarzwecke gestalte [50], allein erstens kennt die Wissenschaft recht gut den Werth solch' „sachverständiger" Gutachten, und zweitens stehen gegen Hamilton die gewiss zuverlässigeren Nachweisungen Glaisher's*). Für Frankreich steht ein ziemlich ausgiebiges Material zu Gebote. So hatte sich namentlich Lespiault die Aufgabe gestellt, die von ihm angeblich wahrgenommenen tiefeingreifenden Veränderungen im Klima jenes Landes darauf zu prüfen, ob man es hier mit in der Intensität wechselnden Einwirkungen des Golfstromes zu thun habe [52]. Er ward darauf geführt, einen solchen Einfluss zu negiren, und vielmehr in einer stetig wachsenden Wucht der an die Westküsten Frankreich's anprallenden Stürme das maassgebende Moment zu erkennen. Anders denkt Blavier [53], der behauptet, dass der Golfstrom sich von der französischen Küste abwende, dass daraus eine ungewöhnliche Ruhe der Atmosphäre, Mangel an heftigen Winden und viel Nebel resultirten, und dass durch das Fernbleiben der Sardinen, welche dem Laufe des „Rennel-Stromes" folgen müssten, dem Nationalwohlstand ein ungeheurer Schaden erwachsen sei. Zwischen Lespiault und Blavier möchte wohl nur schwer eine Einigung herbeizuführen sein. — Wir kommen zu Deutschland. Hier hat sich allerdings im Laufe der Jahrhunderte die Grenze der Weinzone stark nach Süden verschoben, und aus dieser Verschiebung folgert man vielfach eine fortschreitende Depression der Jahrestemperatur. Abgesehen davon, dass das Gedeihen des Rebstockes an gewisse Perioden gebunden, also nach Fritz [54] an gewisse noch unbekannte Faktoren geknüpft scheint, ist es auch eine bedenkliche Sache, mit solchen indirekten Beweismitteln zu operiren**). Doch soll

---

*) Buchan untersuchte eine 94jährige Reihe schottischer Thermometerbeobachtungen und vermochte aus dieser keine irgend erheblichen Schwankungen der Winter- oder der Sommerwärme herauszulesen [51].

**) Im Mittelalter wurde allerdings an vielen Orten Wein gebaut, an denen dessen Kultur heute für unmöglich gehalten wird; Prowe führt [55] einige merkwürdige Zeugnisse hiefür aus dem alten Deutschordenslande an, wie denn 1417 der Komthur von Kurland an den Hochmeister die für einen modernen Weinkenner beängstigende Bitte stellte, ihm mit einem Fässchen „Thorner" aushelfen

nicht etwa gänzlich in Abrede gestellt werden, dass die gründliche Umwälzung, welche Deutschland's Boden seit einem Jahrtausend in Bezug auf Kultur und Anpflanzungsverhältnisse erfahren hat, ihre Rückwirkung auch auf den klimatischen Zustand des Landes geäussert habe. Unser grosser deutscher Sittenschilderer, Freitag, scheint uns ganz das Richtige zu treffen, wenn er (a. a. O.) sagt: „Die atmosphärische Beschaffenheit unseres Landes mag sich zum Nachtheile für den Weinbau mit der Zeit etwas geändert haben. An der Nordgrenze der Weinkultur wurde der Wein damals mit Erfolg da gebaut, wo er unter sich Wasserspiegel, über sich schützendes Holz hatte. Nicht die Sommerwärme scheint ihm jetzt zumeist zu fehlen, sondern während der ersten Entwickelung bis zur Blüthe eine gleichmässige, feuchte Temperatur, langsamerer Uebergang von der Mittagswärme zu einem kürzeren Nachtfrost. In den entholzten und entwässerten Landschaften wird durch strengere Nachtfröste die Entwickelung der Blüthe zu lange aufgehalten." Dass die Ausrodung der Wälder ein hochbedeutsames klimatologisches Element ist, sahen wir in §. 8 des siebenten Kapitels; näher noch kann man sich über die hier schwebenden Fragen bei v. Löffelholz-Colberg [60] und v. Czerny [61] unterrichten*). — Italien giebt uns in dieser Beziehung neue Belege an die Hand. In dem Maasse, wie dort die Menge unbestandenen Areales zunimmt, scheint das Klima excessiver zu werden, obwohl allerdings nach Celoria [63] regelmässige Perioden von wärmeren und kälteren Jahrgängen bis jetzt nicht nachzuweisen sind**). Die italienische Regierung wendet neuerdings der Wiederbeholzung des Landes und der von dieser zu erwartenden Aufbesserung des Klima's grosse Aufmerksamkeit zu; Minister Ricasoli gieng auf seinen Gütern mit gutem Beispiele voran, der Marchese von Bentivoglio bepflanzte die Landzunge im Comersee, und der italienische Alpenklub trug das Interesse für diesen Gegenstand in so weite Kreise, dass das Königreich zur

---

zu wollen, „wente der Wyn yarlingk hir nit is gedeyen". Wenn aber Polluge meint [56], man werde doch damals keinen reinen Säuerling getrunken haben, so dürfte er doch wohl die Geschmacksveränderung der Zeit zu wenig beachten. Gustav Freitag citirt [57] einen Erfurter, der sich schon um 1300, als er aus Italien heimkehrte, über das schlechte Getränke seiner Vaterstadt beklagte; er war eben einer der Wenigen, die eine Ahnung von etwas Besserem besassen. In seiner sehr lesenswerthen Studie über den Kampf zwischen Wein und Bier erzählt Schöttl [58], dass schon im XII. Jahrhundert von schlechten Jahrgängen berichtet wird, dass aber erst um 1350 die berühmten Weinberge der Hegyallya angepflanzt zu werden begannen, und dass die Eröffnung dieser trefflichsten Quelle natürlich sofort den Ruin vieler geringer Weinberge mit sich brachte. Im XIII. Jahrhundert war, was sich gewiss nicht klimatologisch erklären lässt, der deutsche Weinexport stärker, als der französische, und nur die — wohl einzig auf die Verfeinerung der Zunge zurückzuführende — Einfuhr südlicher Weine that der Produktion im Inlande Eintrag [59].

*) Man sollte übrigens nicht vergessen, dass von dem dereinstigen Weinbau jenseits des Thüringerwaldes, wie ihn Nordhoff monographisch geschildert hat [62], noch drei Ueberbleibsel vorhanden sind. Es wäre zu erklären, warum um Naumburg, Meissen und Grünberg (Schlesien) noch immer ein trinkbares Gewächs fortkommt.

**) Ein von Nissen vor der in Trier zusammengetretenen Versammlung deutscher Philologen und Schulmänner (1879) gehaltener höchst instruktiver Vortrag über den Klimacharakter Italiens zur Römerzeit belehrt uns auch darüber, dass man bei der Annahme einschneidender Veränderungen dieses Charakters nur sehr vorsichtig verfahren darf, wenn man sich vor Irrthümern hüten will.

Zeit nicht weniger als 44 hierauf bezügliche Publikationen aufzuweisen hat [64]. Freilich leitet bei diesen Arbeiten nebenher auch noch der Zweck, die entsetzlich weit verbreitete Malaria, die auch mit der Entwaldung gleichen Schritt gehalten zu haben scheint, wieder einzudämmen*). — Für die Pyrenäenhalbinsel gilt ein Gleiches, wie für die apenninische, und auch die balkanische macht keine Ausnahme. Für diese letztere, wie für Sicilien und Vorderasien, finden wir uns durch Th. Fischer's Abhandlung [66] zu ziemlich bestimmten Aussagen berechtigt. Der Peloponnes galt schon bei den antiken Geographen als ziemlich wasserarm, doch ist aus dem Verschwinden der noch bei Pausanias erwähnten Landschildkröten, wie auch aus anderen Anzeichen, abzunehmen, dass der Wassermangel seitdem Fortschritte gemacht hat. Nach Th. Fischer und Tihatcheff wird auch Kleinasien immer dürrer, doch darf man deswegen noch nicht soweit gehen, wie der „Fragmentist" Fallmerayer, der dem Schauplatz altgriechischen Lebens einen unaufhaltsamen Niedergang aus klimatologischen Gründen prophezeite. — Im subtropischen Regengebiete macht sich nach Fischer die Zunahme der Trockenheit noch weit fühlbarer, das Versiegen der Quellen wird, vornämlich auch auf der palmyrenischen Oase, häufiger, in Persien trocknen Seen aus, die geschichtlich beglaubigten Weidegründe der sinaitischen Halbinsel sind verschwunden. Für eine erst ziemlich spät vor sich gegangene Wüstenbildung in Nordafrika sind geschichtliche Belege vorhanden [67]. Fischer hält das Walten eines allgemeinen Naturgesetzes deshalb für sehr wahrscheinlich, weil die Trockniss in der subtropischen Zone überall da zunimmt, wo dieselbe an ihrer Aequatorialgrenze in ein Steppengebiet übergeht. In einem besonderen Aufsatze [68] ist diess weiter ausgeführt worden. Für Südamerika und Australien fehlt es allerdings noch an Beweismaterial, dagegen sind Urkunden für das Trockenwerden gewisser centralasiatischer Gegenden in historischer Zeit vorhanden [69]. Für das ägyptische Delta und für die Umgebung von Jerusalem, wo der Bach Kidron seinem Namen wieder Ehre zu machen anfängt, scheint dagegen die Zunahme der Regenhäufigkeit nicht bezweifelt werden zu dürfen; ein Gleiches gilt für die Uferländer des Tsad und steht wohl mit den Anpflanzungen von Maulbeer- und Gummibäumen in Kausalbeziehung. Von der Insel St. Helena brachten wir bereits (Kap. VII, §. 8) Aehnliches in Erfahrung.

Von einem Lande Europa's ist bisher noch keine Rede gewesen, und doch gehört dasselbe zu den für unsere Frage wichtigsten Territorien. Wir meinen die Schweiz, welcher Dufour (s. o.) seine

*) Torelli hat auf Grund der von den 259 Sanitätskollegien des Reiches eingeschickten Berichte eine Karte über die geographische Verbreitung dieses furchtbaren Uebels ausgearbeitet [65]. Dieser zufolge erfreuen sich nur die sechs Kreise Genua, Florenz, Porto Maurizio, Massa-Carrara, Pesaro und Piacenza einer vollkommenen Immunität, „Malaria debole" herrscht in 13, „Malaria grave" in 29, „Malaria gravissima" in 21 Provinzen. Im Allgemeinen sind stets stagnirende Gewässer mit üppiger Algenvegetation der Sitz der Krankheit, seien es nun austrocknende Seen und Moräste oder Altwasser und Ueberschwemmungsreste schlecht regulirter Flüsse oder versandende Stromausmündungen. Zumal die Anpflanzung von Eukalyptus globulus und Eukalyptus amygdalina hat Besserung herbeigeführt und manche Plätze, wie das Campagna-Kloster Certosa, erst eigentlich bewohnbar gemacht.

Arbeitskraft gewidmet hat; da diese Untersuchung sowohl methodologisch, wie auch hinsichtlich ihrer Resultate, zu den verdienstlichsten Leistungen auf unserem Gebiete zählt, so ist ihr ein eigener Paragraph einzuräumen.

§. 5. **Dufour's Untersuchungen und daraus zu ziehende allgemeine Schlüsse.** Die Betrachtung der klimatischen Verhältnisse der Schweiz beansprucht in Dufour's Abhandlung den Löwenantheil [70]. Die allerdings nicht sehr hoch hinaufreichenden Thermometeraufzeichnungen sprechen ihm zufolge mehr für Stabilität des Klima's, als für Variabilität. Man besitzt solche Listen für Genf (Deluc), Basel (D'Annone und Socin) und auch für einige andere Orte, allein meistens sind diese Beobachtungen nicht unter einander vergleichbar. Aus diesem Grunde ist auch das oben erwähnte Resultat nur als ein vorläufiges zu bezeichnen.

Für die Hochalpenregion scheint allerdings Kasthofer ein Zurückweichen der Vegetationsgrenzen und damit auch ein Rauherwerden des Klima's dargethan zu haben, wenigstens geben Muret und Coaz ihm Recht, wenn auch der Letztgenannte zunächst den Mangel an Baumschutz und Vorsicht bei der Alpenbeziehung für das Abwärtsrücken der Baumlinie verantwortlich machen will [71]. Aehnlich äusserten sich Landolt, Tschudi und der Graubündner Theobald, doch hält Dufour selbst den Rückgang der Alpenvegetation noch nicht für genügend aufgeklärt. De Candolle sieht den Hauptgrund in den wirthschaftlichen Umgestaltungen [72]. Wir können hinzufügen, dass neuerdings ein gründlicher Alpenkenner, Trientl, sich dahin ausgesprochen hat [73], Temperaturschwankungen seien für die Lage der Beholzungsgrenze von weit geringerem Belange, als das Eingreifen des Menschen und noch mehr der Thiere. Dufour wirft noch weiter die Frage auf [74]: Besass die Schweiz dereinst noch andere Pflanzengattungen, als ihre gegenwärtigen? Würden wir von dem Pflanzenkleide, das vor 2000 Jahren den helvetischen Boden bedeckte, ebensoviel wissen, wie von der durch Heer (s. o. §. 1) so gründlich erforschten fossilen Flora des Landes, so wäre eine befriedigende Antwort unschwer zu ertheilen, doch lässt sich auch so erweisen, dass im Verlaufe der letzten Jahrhunderte einige Pflanzen völlig verschwunden sind. Bei einigen Spezies ist für dieses Verschwinden eine von Temperaturoscillationen ganz und gar unabhängige Ursache nachweisbar. Weit mehr als aus der schwer kontrolirbaren Geschichte der wild wachsenden Pflanzen kann man aus derjenigen der kultivirten lernen, und dieser lässt daher Dufour ein besonders eifriges Studium angedeihen [75]; namentlich verfolgt er die Schicksale des Oelbaumes und des Weinstockes. Es ist eine landläufige Ansicht, dass der erstere ehedem an den Ufern des Genfersee's gezogen worden sei, besonders in Montreux und St. Saphorin. Daran ist etwas wahres, der letzte Olivenbaum scheint 1829 zu Grunde gegangen zu sein. Gleichwohl aber ward diese Kultur gar nie in ausgedehnterem Maasse betrieben, es handelte sich immer nur um gelegentlichen Hortikultur-Sport. Die Steuerlisten von Lausanne melden zwischen 1572 und 1586 zwar von Naturallieferungen in Nussöl, nicht jedoch von solchen in Olivenöl. Ebensowenig kommt letzteres in anderen amtlichen Dokumenten oder

in Reisebeschreibungen vor. Dieses negative Zeugniss schliesst natürlich nicht das einstige Vorhandensein einzelner sorgfältig gepflegter Oelbäume, gewiss aber das von Pflanzungen aus. Zeigt man doch jetzt noch bei Montreux einige Exemplare. Wein ward seit je am Leman gebaut, und es ist mithin nur die folgende Alternative möglich: Ward früher an Orten der Weinbau betrieben, wo diess in der Jetztzeit nicht mehr angeht, oder hat der Termin der Weinlese in den letzten Jahrhunderten geschwankt? Allerdings reichte die Rebe früher bis in die Gegend von Freiburg und Neuenburg, doch scheint der Verzicht auf ihre Kultur mit den Gewohnheiten weit mehr als mit dem Klima zusammenzuhängen. Im XVI. Jahrhundert ferner wurde die Weinlese immer ungewöhnlich früh angesetzt, 14 Tage bis 3 Wochen früher, denn heute, allein auch diese Verschiebung der Zeit ist kein ganz hinreichendes Moment. Wir können nichts besseres thun, als Dufour's eigene Worte wiederzugeben: „En présence de la grande complication du problème, en présence de l'incertitude qui règne quant à la part plus ou moins grande qu'ont pu avoir les divers éléments qui influent sur le moment de la récolte, il n'est pas possible d'asseoir, sur ce phénomène du retard de la vendange, une conclusion qui ait un caractère de certitude scientifique, soit quant au changement, soit quant à la constance du climat."

Dufour meint schliesslich [76], man habe wohl bisher bei der Ventilation der Frage säkulärer Klimaschwankung etwas zu ausschliesslich blos die Wärmeverhältnisse in Betracht gezogen, Aenderungen der Luftfeuchtigkeit*) dagegen vernachlässigt. Auf Th. Fischer's Arbeiten kann sich dieser Vorhalt freilich nicht beziehen. Von weiteren Studien kann man noch viel Licht erwarten, durch welches vielleicht manches Dunkel erhellt wird, vorläufig aber wird man dem von Dufour für die Schweiz und durch Analogieschluss auch für andere Länder gewonnenen Resultate beipflichten müssen: Die Behauptung, dass das Klima einer bestimmten Erdgegend nicht variire, hat, wohl erwogen, nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse eine grössere Berechtigung, als die entgegengesetzte**).

[1] Pilar, Ein Beitrag zur Frage über die Ursachen der Eiszeit, Agram 1876. S. 9 ff. — [2] Heer, Die Urwelt der Schweiz, Zürich 1856. S. 537 ff. — [3] Sartorius von Waltershausen, Untersuchungen über das Klima der Gegenwart und Vorwelt, mit Berücksichtigung der Gletschererscheinungen in der Glacialzeit,

---

*) Vielfach hört man in dieser Angelegenheit vom Vor- und Rückgange der Gletscher als untrüglichem klimatologischem Gradmesser sprechen; Simony glaubt auch in der That, dass die Sage von der „verschwundenen Alp" am Dachsteingletscher einen reellen, durch Klimaschwankungen bedingten Hintergrund habe [77]. Allein die Gletscherbewegung ist ein so äusserst verwickeltes Phänomen, dass wir alle derartigen Schlüsse für gewagt halten müssen.

**) Solche Wahrnehmungen, wie sie Fischer betreffs der subtropischen Regenzone gemacht hat, nehmen wir natürlich aus. Dass auch durch Meeresdurchbrüche und ähnliche Kataklysmen das Klima erhebliche, wenn auch nicht periodisch sich wiederholende Stösse erleiden muss, versteht sich ebenfalls von selbst. Wir denken dabei hauptsächlich an Krümmel's Vermuthung [78], dass Nordafrika dereinst von Meeresarmen durchzogen gewesen sei und ein ganz anderes Klima gehabt habe.

Haarlem 1865 — [4] v. Czerny, Die Veränderlichkeit des Klima's und ihre Ursachen, Wien-Pest-Leipzig 1881. — [5] Polluge, Klimaveränderungen in historischen Zeiten, Berlin 1880. — [6] Th. Fischer, Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, Leipzig 1877. S 25 ff.; Studien über das Klima der Mittelmeerländer, Petermann's geogr. Mittheil., Ergänzungsheft Nr. 58, Gotha 1879. — [7] Dufour, Notes sur le problème de la variation du climat, Bull. de la soc. Vaud. des sc. phys. et nat., Vol. X. S. 359 ff. — [8] Wojeikoff, Ueber die klimatischen Verhältnisse der Eiszeiten sonst und jetzt, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 151 ff. — [9] Penck, Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882. S. 32 ff. — [10] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 129 ff. — [11] v. Schleinitz, Ueber die von der internationalen Meteorologenkonferenz in Hamburg, Oktober 1879, geplante Polarforschung, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 203 ff. — [12] Adhémar, Les révolutions de la mer, déluges périodiques, Paris 1842; 2. Aufl., ibid. 1875. — [13] Julien, Courants et révolutions de l'atmosphère et de la mer comprenant une théorie nouvelle sur les déluges périodiques, Paris 1860. — [14] Le Hon, Périodicité des déluges, Bruxelles 1868. — [15] Julien, Courants etc., S. 181 ff. — [16] Ibid. S. 185. — [17] Günther, Studien etc., S. 195 ff. — [18] Pilar, Ein Beitrag etc., S. 43 ff. — [19] Ibid. S. 67 ff. — [20] Bruchhausen, Die periodisch wiederkehrenden Eiszeiten und Sintfluthen, Trier 1845. — [21] Croll, Climate and time in their geological relations; a theory of secular changes of the earth's climates, London 1875. — [22] Wyville Thomson, On the conditions of the antarctic Nature, Vol. XV. S. 104 ff. — [23] Fisher, Climatic effects of the present excentricity, ibid. Vol. XX. S. 577 ff. — [24] v. Czerny, Die Veränderlichkeit etc., S. 84. — [25] Wallace, Isand life, London 1880. S. 47 ff. — [26] Penck, Schwankungen etc., S. 68. — [27] Schmick, Die Umsetzungen der Meere und die Eiszeiten der Halbkugeln der Erde, ihre Ursachen und Perioden, Köln 1869; Thatsachen und Beobachtungen zur weiteren Begründung dieser Theorie, Görlitz 1871; Die neue Theorie periodischer säkulärer Schwankungen des Seespiegels und gleichzeitiger Verschiebung der Wärmezonen auf der Nord- und Südhalbkugel, Münster 1872; Das Fluthphänomen und sein Zusammenhang mit den säkularen Schwankungen des Seespiegels, Untersuchungen auf Grund neueren und neuesten Materiales, Leipzig 1874; Die Aralo-Kaspi-Niederung und ihre Befunde im Lichte der Lehre von den säkulären Schwankungen des Seespiegels und der Wärmezonen, Leipzig 1874; Das Fluthphänomen, Leipzig 1876; Sonne und Mond als Bildner der Erdschaale, Leipzig 1878. — [28] v. Schilling, Einiges über die Schmick'sche Theorie periodisch-säkulärer Schwankungen auf der Nord- und Südhalbkugel der Erde, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 10. Band. S. 437 ff. — [29] Pilar, Ein Beitrag etc., S. 29 ff. — [30] Ibid. S. 39. — [31] Oberst Tillo's Nivellement zwischen dem Aralsee und dem kaspischen Meere, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 2. Band. S. 84 ff. — [32] Zöppritz, Rezension zu Schmick's Schriften, Gött. Gel. Anz., 1878. S. 868 ff. — [33] Agassiz, Étude sur les glaciers, Neuchâtel 1840. — [34] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursache, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882. — [35] v. Czerny, Die Veränderlichkeit etc., S. 90. — [36] Pilar, Ein Beitrag etc., S. 13 ff. — [37] Ibid. S. 19 ff. — [38] Lyell, Principles of geology, Vol. I., London 1872. S. 268. ff. — [39] Sartorius v. Waltershausen, Untersuchungen etc., S. 146 ff. — [40] Ueber periodische Aenderungen in der Stärke der Meeresströmungen, Naturforscher, 17. Jahrgang. S. 253 ff. — [41] Krichenbauer, Die Irrfahrt des Odysseus als eine Umschiffung Afrikas erklärt, Berlin 1877. — [42] E. Biot, Recherches sur la température ancienne de la Chine, Paris 1851. — [43] Dove, Nichtperiodische Veränderungen der Wärme auf der Erdoberfläche, Abhandl. d. k. pr. Ak. d. Wissensch., Phys. Kl., 1838, 39, 42, 45, 52. — [44] Draper, Ueber die Frage einer Aenderung des Klimas der östlichen Staaten von Nordamerika, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 9. Band. S. 239 ff. — [45] Günther, Studien etc., S. 300 ff. — [46] Burmester, Geschichte der Schöpfung. Halle 1872. S. 306. — [47] A. Kirchhoff, Rezension zu v. Czerny's Schrift, Leopoldina, 1881. S. 175 ff. — [48] R. Wolf, Notizen zur Kulturgeschichte der Schweiz, Nr. 131. — [49] K. G. Zimmermann, Bestätigung des von K. Fritsch gelieferten Nachweises einer säkulären Aenderung der Lufttemperatur. Ann. d. Phys. u. Chem., 98. Band. S. 314 ff. — [50] Hamilton, Experiments to determine the temperature of the earth's surface in the kingdom Ireland in the year 1788, Transact. of the Irish Academy, Vol. II., 1788. — [51] Buchan, Climate of Scotland, Athenaeum, 1876. S. 329. — [52] Lespiault, Mém. de la soc. des sc. phys. et nat., (2) vol. V. S. XI ff. — [53] Blavier,

Changement du climat sur les côtes de la Vendée et déplacement probable du Gulf-Stream, L'Astronomie (de Flammarion) 1883. S. 106 ff. — [54] Fritz, Die Perioden der Weinerträge, (Thiel's) Landwirthsch. Jahrbücher, 10. Band. S. 671 ff. — [55] Prowe, Nicolaus Coppernicus, 1. Band, 1. Theil, Berlin 1883. S. 105. — [56] Pollnge, Klimaänderungen etc., S. 10. — [57] Freitag, Bilder aus der deutschen Vergangenheit, 2. Band, 1. Abtheilung, Leipzig 1867. S. 138. — [58] Schöttl, Wein und Bier, kulturgeschichtliche Betrachtungen zu einem Gesetze Kaiser Maximilian's I., Blätter f. d. bayr. Realschulwesen, 2. Band. S. 108 ff. — [59] Ibid. S. 118. — [60] v. Löffelholz-Colberg, Die Bedeutung und Wichtigkeit des Waldes, Leipzig 1872. — [61] v. Czerny, Veränderlichkeit etc., S. 39 ff. — [62] Nordhoff, Der vormalige Weinbau Norddeutschlands, Münster 1877. — [63] Celoria, Variazioni periodiche e non periodiche della temperatura nel clima di Milano, Rendiconti del Istit. Lomb., (2) Vol. VII. S. 312 ff. — [64] Zur Wiederaufforstung in Italien, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 8. Band. S. 118 ff. — [65] Torelli, Carta della malaria dell' Italia, Firenze 1882. — [66] Th. Fischer, Studien etc., S. 40 ff. — [67] Pollnge, Klimaänderungen etc., S. 27. — [68] Ueber Klimaänderungen an der Aequatorialzone des subtropischen Regengebietes, Ausland, 1877. S. 891 ff. — [69] Pollnge, Klimaänderungen etc., S. 33 ff. — [70] Dufour, Notes etc., S. 364 ff. — [71] Ibid. S. 373 ff. — [72] De Candolle, Géographie botanique raisonnée, Paris 1855. S. 357. — [73] Trientl, An der Holzgrenze, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 6. Band. S. 208 ff. — [74] Dufour, Notes etc., S. 383 ff. — [75] Ibid. S. 387 ff. — [76] Ibid. S. 419 ff. — [77] Simony, Anzeichen säkulärer klimatischer Schwankungen am Karls-Eisfeld, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 19. Band. S. 127 ff. — [78] Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879. S. 41.

Kapitel X.

Angewandte Meteorologie.

§. 1. **Wetterprognose.** Wohl ebenso alt, wie die Anfänge menschlicher Kultur, sind auch die Versuche, brauchbare Regeln zur Vorausbestimmung der künftigen Witterung auszumitteln. Bis in's XVIII. Jahrhundert herein trug die Prognose, wie man sich in der Kürze auszudrücken pflegt, einen astrometeorologischen Charakter, und dass derselbe auch in der Gegenwart noch nicht als völlig abgestreift gelten kann, haben wir im fünften Kapitel gesehen, wo von Overzier's Prognosen die Rede war. Bis die Mehrheit der Fachmänner sich endlich von diesem Hemmniss eines gesunden, wissenschaftlichen Fortschreitens losgemacht hatte, tauchte eine Unsumme sogenannter „Regeln" auf, die natürlich in ihrer grossen Mehrheit richtiger Basis entbehrten. So war gegen den Ausgang des XVII. Jahrhunderts und noch später das Werk eines gewissen Cock [1] das Evangelium aller Wetterpropheten. Aus ihm schöpfte mancher Verfertiger eines sogenannten „tausendjährigen Kalenders", es war die Quelle vieler „Bauernregeln", die ja hie und da manch' richtige Beobachtung enthalten mögen, die aber doch vor Eisenlohr's genauer Prüfung [2] sich als inhaltslos und irrig herausgestellt haben. Schon Fischart goss über die „Wetterpraktiken" seiner Zeit die Lauge seines Spottes aus [3]. Andere suchten im Verhalten der Thierwelt Andeutungen von Veränderungen des Wetters aufzufinden; Frösche, Stechfliegen, Spinnen mussten als

Untersuchungsobjekte dienen, und zumal Scultetus schuf ein System der Araneologie [4], welches sich, wenn man überhaupt eine Konkurrenz zwischen Bestrebungen dieser Art zulassen will, recht wohl neben dasjenige stellen kann, das Quatremere 200 Jahre später sich zurechtmachte. Ellner's Versuche, in diese Seitenpfade der Wissenschaft mehr Ordnung zu bringen [5], konnten natürlich so wenig von wirklichem Erfolge begleitet sein, wie Schübler's gutgemeinte Bestimmung der Winterstrenge aus der Zeit der Abwesenheit der Störche und Schwalben [6]. Als klimatisch-phänologisches Element hätte vielleicht die Aufenthaltsdauer der Strichvögel mehr Bedeutung. — Wie sonderbaren Vermuthungen auch ernste Forscher noch vor fünfzig Jahren nachhiengen, mag uns das Beispiel Schön's, eines recht tüchtigen Astronomen, lehren, der die Frage erörterte, ob wirklich immer am vierzigsten Tage nach dem Erscheinen von Höhenrauch zwischen dem 1. November und 21. März strenge Kälte einfallen müsste, und der dann diese Regel wenigstens insoweit bestätigte, dass am bewussten Tage eine Aenderung des Wetters, verbunden mit Temperaturrückgang, sich ergeben werde [7]. — Weit mehr Werth kommt gewissen Indicien atmosphärisch-optischer Natur zu; so hat Kämtz [8] gewiss nicht Unrecht, wenn er das Wasserziehen der Sonne mit der Anwesenheit sehr zahlreicher Wasserbläschen in der Luft in Verbindung bringt, und Clausius meint [9], da das Saussure'sche Kyanometer (Kap. III, §. 7) die Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit ziemlich deutlich angebe, so möchte dasselbe vielleicht auch in der Wetterprognose eine gewisse Rolle spielen können. Von Piazzi Smyth's „Regenband" im Spektrum handelte §. 10 unseres dritten Kapitels, vom Scintilliren der Sterne §. 3.

Eine Prognose auf korrekter Basis rief zuerst Buys-Ballot in's Leben. Er schlug vor, jeden Tag Kärtchen anzugeben, in welche für eine Anzahl gut vertheilter Orte der Barometerstand und die Windrichtung eingetragen wären, und wenn diese Diagramme rechtzeitig versandt würden, so könne man sich auch für Gegenden, die auf der Karte nicht unmittelbar berücksichtigt wären, das ungefähre Witterungsbild entwerfen [10]. Damit war, wenn auch noch in schüchternen Umrissen, das Wesen der Prognose mittelst synoptischer Wetterkarten angedeutet und der Sieg der „synoptischen" Methode über die bisherige „statistische" angebahnt. Leverrier und Chacornac dehnten einen solchen synoptischen Wetterdienst mit Hülfe des elektrischen Telegraphen über Frankreich aus, Hoffmeyer organisirte ihn in Dänemark, Neumayer mit van Bebber in Deutschland, Myer in Amerika, wo, wie wir einem Aufsatze von Franceschini [11] entnehmen*), durch eine am 9. Februar 1870 erlassene Kongressakte der Kriegsminister zum Chef des prognostischen Dienstzweiges ernannt wurde. Die Organisation ist eine vorzügliche, bis zum Jahre 1875 waren bereits 850 000 Dollars für selbe verausgabt, einige Stationen Neu-Mexiko's und Colorado's wurden in einer

*) Allerdings hatte nach Ratzel [12] die Handelskammer von Cincinnati schon ein Jahr früher eine Anregung ausgehen lassen, und der Vorschlag, den elektrischen Telegraphen in den Dienst der Prognose zu stellen, datirt in Amerika vom Jahre 1847, während auf dem Kontinente Wittmann [13] erst drei Jahre später mit dieser inhaltsreichen Idee hervortrat.

Höhe von 2092 und 4333 Metern angelegt. Die Publikationen des Amtes sind die „Probabilities“ *) und die „Weather-Maps“. Wenn auch nicht in gleich grossartigem Maassstabe, so doch dem Wesen nach ähnlich, haben sich alle Kulturstaaten ihren prognostischen Dienst eingerichtet, selbst in der Türkei ward derselbe durch Cumbary eingeführt. Brocard, der die Eigenthümlichkeiten in einer besonderen Schrift [14] schildert, welche die einzelnen Länder in dieser Hinsicht charakterisiren, sagt am Schlusse derselben: „Ainsi, en résumé, tous les états de l'Europe ont tenu à concourir à la constitution d'un réseau météorologique international, dont les observations forment l'objet d'un échange quotidien de télégrammes qui s'expédient avec plus d'exactitude et d'activité, que les informations politiques. Les services que rend chaque jour à la météorolgie, au commerce et à la navigation justifient et couvrent bien, au delà, toutes les dépenses que peut entraîner le fonctionnement d'un ensemble aussi étendu.“

Was nun die Tagesthätigkeit des für die Prognose thätigen Meteorologen anlangt, so ist dieselbe etwa folgende **). Zu einer bestimmten Zeit eröffnet er die aus den Bezugsorten eingegangenen Witterungstelegramme und schreibt in seine Karte neben jeden Ort die Angaben über Barometerstand u. s. w., welche er soeben erhalten hat. Alsdann verbindet er alle diejenigen Orte durch einen Kurvenzug, für welche sich die — selbstverständlich bereits auf das Meeresniveau bezogenen — Barometerhöhen als gleich ergeben haben und erhält so die Isobarenkarte des dem laufenden Tage unmittelbar voraufgehenden Tages. Das Buys-Ballot'sche Gesetz ermöglicht es ihm, aus der Lage der Isobaren auf die ungefähre Windrichtung und auf den Gang der Minima für die nächste Zeit zu schliessen, und damit ist ihm nach Kap. VI, §. 8 auch eine Reihe von Anhaltspunkten zur Beurtheilung des Witterungscharakters gegeben; grosse Gradienten z. B. künden ihm einen nahenden Sturm. Der Beamte drängt seine Wahrnehmungen in einige möglichst kurze Sätze zusammen und übergiebt sie in dieser Form, zusammen mit der in Chiffren umgesetzten Karte — jedes meteorologische Element hat seine feststehende Chiffre — dem Telegraphenbureau, welches die Ergebnisse der Centralstelle sowohl an die ihr untergeordneten oder mit ihr im Depeschenaustausch stehenden Amtsstellen als auch an die Tagesblätter weiterbefördert ***). Ueberall hat dann noch der für die Lokalprognose bestimmte Meteorologe seine besonderen Bemerkungen und Korrekturen anzubringen; so z. B. erwies sich nach Tarry [19] die Einrichtung einer eigenen Prognosenstellung für Algier nothwendig, nachdem man das Pariser Observatorium als

*) Hiernach führt General Myer seinen populären Spitznamen „Old Prob“.

**) Speziellere Anweisungen enthalten die Schriften von Bruhns [15] und Krebs [16]. Wie es auf der deutschen Seewarte zugeht, die wohl als Norm für alle Institute von verwandter Tendenz dienen kann, beschreibt ausführlich van Bebber [17], auf dessen Schilderung wir Jeden verweisen, der sich mit dem bei diesem Geschäfte mehr denn sonst irgendwo in's Gewicht fallenden technischen Detail bekannt machen will. Eine generelle Darstellung dessen, was die praktische Witterungskunde erstrebt und leistet, ist auch vom Verf. gegeben worden [18].

***) In Deutschland haben so die „Frankfurter Zeitung“ (Krebs), die „Magdeburgische Zeitung“ (Assmann), die „Kölnische Zeitung“ (H. J. Klein) und die „Kölnische Volkszeitung“ (Garthe) ihre eigene „Wetterwarte“. Geradezu berühmt ist der Wetterdienst des „New York Herald“.

unvermögend erkannt hatte, den verwickelten Verhältnissen de Mittelmeerbeckens gerecht zu werden.

Da wir wissen, dass die Zugstrassen der das Wetter regulirenden Depressionen immer von Westen herkommen, so können wir von vorn herein uns vorstellen, dass die europäische Witterungsprognose von solchen Stationen erheblichen Vortheil ziehen müsste, welche bis in's atlantische Meer hinein vorgeschoben wären. Nach dieser Richtung hin hat Hoffmeyer Vorschläge gemacht, die einer sorgsamen Erwägung würdig sind [20]. Er will die Beobachtungsstationen der Fär-Öer, Island's und Südgrönland's, sowie diejenigen der Azoren mit Europa und jene der Bermudas-Inseln mit Nordamerika verbinden und auf diese Weise synoptische Karten für das Gesammtgebiet der Nord-Atlantik herstellen. Es steht zu hoffen, dass der Vorstand der deutschen Seewarte trotz Hoffmeyer's vielbeklagtem Tode die Erweiterung unseres Beobachtungsnetzes anstreben werde. Wir würden jedoch, wenn wir jetzt schon tiefer in diese Fragen eingehen wollten, mit der Aufgabe des §. 3 in Konflikt kommen, während uns zunächst die Pflicht erwächst, die Bedeutung der Prognose für einen recht eigentlich binnenländischen Zweck in's Auge zu fassen.

§. 2. **Agrarmeteorologie.** Die Meteorologie kann für Agrikulturzwecke in doppelter Weise nutzbar gemacht werden. Einmal in klimatologischem Sinne: da handelt es sich etwa darum, welche Klimate der Zucht einer bestimmten Pflanze günstig sind, welche Lehren aus der topischen Klimatographie betreffs der Anpflanzung von Nutzgewächsen entfliessen, u. s. w. An diesem Orte haben wir hauptsächlich der landwirthschaftlichen Prognose unser Interesse zuzuwenden. Man kann die verschiedenen Fragen, auf welche es dem gebildeten Agronomen ankommt, kaum besser charakterisiren, als es in einer Schrift [21] von Lorenz v. Liburnau geschehen ist. Derselbe unterscheidet vier gesonderte Komplexe meteorologischer Daten: einen physiologischen, dem die Beziehungen von Witterung und Klima zu den organisirten Wesen untergeordnet sind, einen physikalischen, welcher die Einwirkung lokaler Momente — etwa der Vegetationsdecke — auf das Klima zum Zwecke hat, einen prospektiven, d. h. Beurtheilung und Vorausbestimmung der Witterung, und einen retrospektiven, dessen Pflicht es ist, statistisch und physikalisch die Beziehungen des Klima's zur Vertheilung und zum Gedeihen der organischen Bodenprodukte zu studiren. Es muss ergründet werden das durchschnittliche Häufigkeitsverhältniss der einzelnen Windrichtungen zu einander, die thermische, atmische und nephische Windrose (Kap. II, §. 6), man muss bestimmen die Mittel und Monats-Extreme der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Niederschlages. Speziell ist es für die Landwirthschaft wichtig, zu wissen, wie lange gewöhnlich ein bestimmter Wind weht*), bis er durch einen anderen verdrängt wird, an welchen Tagen durchschnittlich Temperaturen unter dem Gefrierpunkte verzeichnet werden, wie lange diese kalten

*) In neuerer Zeit pflegen rationelle Landwirthe sich, ehe sie eine Anlage von Hopfenpflanzen an Stangen oder Drähten machen, über die an jenem Orte herrschende Windrichtung zu vergewissern.

Zeiträume dauern und wie oft diejenigen wiederkehren, innerhalb deren die Temperatur annähernd dem Maximum oder Minimum der betreffenden Jahreszeit entspricht. Niederschlagsdichtigkeit und Regenwahrscheinlichkeit sollten bekannt sein. Für die eigentliche Erntestatistik genügen die folgenden Daten: Monatsmittel, Dekaden- und Pentadenmittel der Temperatur, Datum und Gradzahl des Maximums und Minimums in jedem einzelnen Monate und entsprechende Angaben für Regenfall und Feuchtigkeit. Wenn in diesem Sinne vorgegangen würde, so könnten die in der Broschüre von Schultz [22] enthaltenen und auch jetzt schon sehr übertriebenen Klagen gegen den Betrieb des landwirthschaftlich-klimatologischen Dienstes nicht aufrecht erhalten werden. Allerdings ist zu bedauern, dass jenes Regulativ, auf welches sich Schultz bezieht, und welches von den bekannten Agronomen Thiel und Hausburg im Vereine mit dem Meteorologen Köppen für die Reichsbehörden ausgearbeitet ward [23], noch recht wenig zur praktischen Verwerthung gelangt ist.

Die von der „prospektiven Gruppe" Lorenz v. Liburnau's zu befolgenden Grundsätze hat van Bebber [24] sehr umsichtig vorgezeichnet. Im Sinne eines zuerst von Lamont ausgegangenen Vorschlages sollen Stationen erster, zweiter und dritter Ordnung errichtet werden. Die ersteren sind wirkliche Centralobservatorien, mit Selbstregistratoren ausgerüstet, diejenigen zweiter Ordnung liefern etwa solche Beobachtungen des Barometers, Thermometers und Psychrometers, wie sie nach Lamont's Plane von den bayrischen Gerichtsärzten verlangt wurden*), und diejenigen dritter Ordnung werden möglichst zahlreich von Leuten verwaltet, welche sich, ohne dass dabei die frühere Exaktheit nöthig wäre, zur Einsendung von lokalen Witterungsberichten verpflichten. Die auf dieses Stationssystem sich begründende Prognose muss natürlich manches anders machen, als die in §. 1 beschriebene; Stürme z. B. ohne starken Regen pflegen dem Landmanne ziemlich gleichgültig zu sein, während die Vorherverkündigung von Nachtfrösten für ihn von grossem Werthe wäre. Ist es doch schon öfters gelungen, Weinberge durch Entwickelung eines Rauchmantels gegen die allzustarke nächtliche Ausstrahlung der Erde zu schützen.

Mit den Lokalcentren verbindet Bruhns (a. a. O.) ein Mittheilungssystem durch den optischen Telegraphen. Eine schwarze Kugel bedeutet regnerische, eine weisse Kugel trockene, eine Kombination von beiden veränderliche Witterung. Es empfiehlt sich, entsprechende Signale auch für die Warnungen vor Wassergefahr zu verwenden**).

*) Bergige Gegenden sollten mit einem besonders dichten Stationsnetze übersponnen werden. Ein solches würde vielleicht, selbst wenn nur die zweite und dritte Ordnung berücksichtigt werden könnten, mehr praktischen Nutzen schaffen, als die Begründung einzelner noch so trefflich ausgestatteter Hochstationen (Mount Washington, Mont-Souris, St. Theodul-Pass), welch' letztere allerdings für die Klärung gewisser theoretisch-meteorologischer Fragen unentbehrlich sind. Allgemeine Grundsätze für montane Observatorien stellt Marinelli auf [25].

**) Diess geschieht jetzt schon in Nordamerika. Dort bringt man allseitig den durch Aushang am kleinsten Gemeindehause publicirten „Probabilities" ein reges Interesse entgegen: Die Baumwollenpflanzer richten sich danach mit ihrer Ernte, die Tabakfabrikanten bestimmen danach, ob ihre Blätter noch länger in

§. 3. **Litorale Meteorologie und Sturmwarnungen.** So gleichgültig die Agrarmeteorologie sich gegen die Veränderungen des Luftdruckes verhält, so lebhaft beschäftigen gerade diese ihre Schwesterdisciplin, die Meteorologie des Küstenschutzes. Ihr fällt die Aufgabe zu, Regeln festzustellen, durch welche das Herannahen eines Sturmes im voraus erkannt werden kann, und alsdann durch ein System von Sturmwarnungen die in der Nähe der Küste befindlichen Schiffe zum Einlaufen in den Hafen zu veranlassen, resp. die sonst erforderlichen Schutzmaassregeln zu treffen. Eingehendste Belehrung über Sturmwarnungen findet man in dem grossen Werke von Buys-Ballot [26] und in einem Schriftchen von Sohncke [27]. Für Deutschland ist maassgebend das im fünften Jahrgang des Archivs der Seewarte, dann aber auch als selbstständige Schrift [28] veröffentlichte Organisationsstatut. Einer der Sektionschefs der Seewarte bereist jährlich das ganze Litoral der Nord- und Ostsee, um den regelmässigen Gang des Sturmwarnungswesens zu überwachen.

Grosse Gradienten, resp. eine sehr geringe Normaldistanz zweier Nachbar-Isobaren, sowie jäher Fall des Quecksilbers im Barometer künden den aus Westen kommenden Sturm an. Alsdann werden an jeder Signalstation die Warnungszeichen auf einer der hiefür bestimmten Stangen in die Höhe gezogen. Vielfach sind dies geflochtene Körbe, vielfach auch verschieden gefärbte Flaggen, einen sehr geistreich eingerichteten optischen Indikator benützen nach Buys-Ballot's Angabe (s. o.) die holländischen Küstenorte; auch J. Müller beschreibt genau [29], wie man aus den Armstellungen dieses Telegraphen sogar Richtung und Stärke des Sturmes erschliessen kann. Allerdings setzt diese Einrichtung bei den Seeleuten schon einige Kenntniss der wichtigeren Sturmgesetze voraus.

Nach Hoffmeyer (a. a. O.) kommen die speziell sturmerregenden Minima häufig nicht vom amerikanischen Kontinente selbst herüber, sie bilden sich vielmehr mit Vorliebe über dem atlantischen Meere, und es werden dadurch die amerikanischen Sturmwarnungen trotz des submarinen Kabels für uns fast werthlos. Der treffliche dänische Meteorologe entwickelt deshalb den Plan zu einem förmlichen wettertelegraphischen Dienste auf dem Ocean, und der Vorstand der grossen nordischen Telegraphengesellschaft, Tiedgen, hat diesen Plan unter seine besondere Protektion genommen. — Um zwischen den Inseln Mauritius und Réunion ein Sturmwarnungssystem einzuführen, soll nach Adam der Gauss'sche Heliograph dienen [30]. In der That hat Ibañez mit Hülfe desselben zwischen Orten hin- und hertelegraphirt, deren Entfernung erheblich grösser ist, als jene der beiden Inseln. Ein kleiner, automatischer Unterbrecher soll die Lichtsignale nach Morse hervorbringen, und als Empfänger soll entweder das lichtempfindliche Selen verwendet, oder es soll jedes Signal auf einem mit Bromsilber-Gelatine überzogenen Papierstreifen markirt werden, welcher sich am Fokus des Aufnahmefernrohres vorüberbewegt. So

---

der Luft hängen bleiben sollen. Dabei ist freilich nicht zu vergessen, dass die schon mehrfach hervorgehobene Regelmässigkeit, mit welcher in jenem Lande die Minima sich auf bestimmten Wegen fortbewegen, eine dem Europäer kaum erreichbare Sicherheit der Prognosenstellung möglich macht.

würde einer der den indischen Ocean gefährdenden Drehstürme auch ohne Kabel 24 bis 36 Stunden eher in Réunion angemeldet werden können, als er diese Insel wirklich erreicht.

§. 4. **Maritime Meteorologie und Schiffskurse.** Ueber die Anfänge dieses in neuerer Zeit zu hervorragender Wichtigkeit gelangten Wissenszweiges finden wir Belehrung bei Gelcich [31]. Eine Art von maritimer Meteorologie bildete sich bereits bei den portugiesischen Seefahrern aus, als dieselben die Zonen der Passate, Kalmen und veränderlichen Westwinde auseinanderzuhalten bemüht sein mussten. Fray Andres de Urdaneta fand den Weg über die Südsee, indem er sich auf die Annahme stützte, dass über dem grossen Ocean wesentlich die gleichen Kräfte ihr Spiel treiben müssten, wie über dem atlantischen*). Am 1. Juni 1565 verliess derselbe die Philippinen, steuerte gegen die Ladronen, sichtete die Küste Japan's unter dem 36. Parallel und wendete, nachdem er noch ein paar Grade höher hinauf gelangt war, gegen Südost um; diesen Kurs einhaltend, erreichte er Acapulco nach der verhältnissmässig kurzen Zeit von 125 Tagen. Er liess sich also von der allein richtigen Tendenz leiten: Die Kurse nicht zu erzwingen, sondern den herrschenden Windrichtungen anzupassen. Im rothen Meere wagte man damals bei Nacht noch kaum zu segeln. Noch Zuallert war im XVI. Jahrhundert nicht im Stande, von Cypern aus direkt einen syrischen Hafen anzusegeln; auch dort, in der Osthälfte des mittelländischen Meeres, verwandelte sich die Küstenschifffahrt durch das Studium der Windverhältnisse erst ganz allmählig in wirkliche Seeschifffahrt. Im Jahre 1575 erschien [34] das erste bessere Kompendium der oceanischen Nautik, Juan Escalante de Mendoza's „Itinerario de Navegacion á los mares y tierras occidentales“, worin neben einer Beschreibung der Meere, Winde, Strömungen u. s. w. auch nähere Angaben über die nach bestimmten Orten hinführenden Routen angetroffen werden. Grosse Fortschritte wurden in der darauf folgenden Zeit nicht mehr gemacht, und selbst noch im XVIII. Jahrhundert geschah, wie Neumayer ausführt [35], von der unter Ludwig XVI. nach den Aequatorialgegenden entsandten Expedition Borda's und Le Verdun's abgesehen, nichts Besonderes für die scientifische Ausgestaltung des Seeverkehres. Damals glaubte man bei jeder Seereise auch jeden grösseren Hafen besuchen zu müssen; um z. B. von Europa aus nach Australien zu gelangen, hielt man einen Aufenthalt in Rio und einen zweiten am Vorgebirge der guten Hoffnung für unvermeidlich, und so nahm noch um 1800 jene Reise ihre zweihundert Tage in Anspruch. Man legte wenig Gewicht auf den Punkt, in welchem man die Linie kreuzte und

*) Die Berücksichtigung dieser Reise kann von Bedeutung sein bei der Beurtheilung gewisser geschichtlich-geographischer Fragen. A. Kirchhoff hatte aus dem Reiseberichte eines sächsischen Abenteurers v. Miltitz zu entnehmen geglaubt [32], dass jener rund um die Erde herumgekommen sei. Demgegenüber macht Ruge [33] darauf aufmerksam, dass dann v. Miltitz den Pacifik in der Richtung von Ost nach West durchkreuzt haben müsste, was den Windrichtungen gegenüber eine ganz unvergleichbar grössere Leistung gewesen wäre, als diejenige Urdaneta's. Die fünf ersten Weltumsegler (Magellan, Drake, Cavendish, Hawkins, De Noort) hielten alle den gleichen westöstlichen Kurs ein.

suchte von irgend einem Punkte aus auf einer Kombination von loxodromischen Wegen (I. Band, S. 278) um die Südspitze Afrika's herumzukommen, freilich auf die naheliegende Gefahr hin, dem ständigen Südostpassate zu begegnen und gegen diesen aufkreuzen zu müssen. Seit dem Anfang der fünfziger Jahre gieng man daran, das Segeln nach konstantem Kurswinkel wieder durch das rationellere Segeln auf dem grössten Kreise zu ersetzen, und da konnte man denn auch Luft- und Meeresströmungen besser in Rechnung ziehen. Seit 1842 begann der amerikanische Marineoffizier Maury diesem Gegenstande seine Theilnahme zuzuwenden; ihm schwebte der Gedanke vor, dass meteorologisch sich der relativ kürzeste Weg von einem Erdorte zum anderen bestimmen lassen müsse. Im Jahre 1853 trat die meteorologische Konferenz zu Brüssel zusammen, und auf dieser sah Maury seine Pläne anerkannt und genehmigt. Die Reise nach Australien ward auf einen Zeitraum von 70 bis 90 Tagen herabgebracht, die mittlere Fahrgeschwindigkeit von $3^3/_4$ auf 6, ja auf $6^1/_2$ Seemeilen in der Stunde erhöht.

Maury selbst, nachmals zum Admiral erhoben und erst durch den Secessionskrieg einer gedeihlichen Wirksamkeit entrückt, legte seine Grundsätze in einem grösseren Werke nieder, von welchem wir auch eine gute deutsche Ausgabe besitzen [36]. In seine Fusstapfen sind andere wissenschaftlich gebildete Nautiker getreten, wie die Werke von Knorr [37], Toynbee [38] und Evans-Hull [39] beweisen; auch das vielfach erwähnte österreichische Handbuch enthält [40] einen ausgedehnten Abschnitt über maritime Meteorologie und transoceanische Routen aus der Feder Attlmayr's. Von deutschen Gelehrten nahm schon 1855 Neumayer die Sache in die Hand und brachte es dahin, dass heutzutage auf der Hamburger Seewarte ein Forschungsmaterial für seemännische Witterungskunde vereinigt und in unabsehbarem Wachsthum begriffen ist, wie es noch vor nicht sehr langer Zeit für unerreichbar gegolten hätte. Der von Neumayer über die Arbeitseintheilung seiner Sparte erstattete Bericht [41] ist auch im Folgenden für uns maassgebend.

Die gesammte Meeresfläche, um deren Untersuchung es sich handelt, wird in Bezirke von Trapezform getheilt, und jede der durch Vertrag zu gemeinsamer Arbeit verpflichteten Nationen macht sich anheischig, einen dieser Bezirke evident zu halten. Derselbe wird dann weiter in sogenannte nGrad-Felder getheilt, d. h. in sphärische Trapeze, deren Seiten jeweils n Grade in Breite und Länge umfassen. Je kleiner n gewählt werden kann, um so nutzbringender, aber auch um so schwieriger gestaltet sich die Arbeit. Eingradfelder sind das Gewöhnliche, Schück aber fand bei seinen Untersuchungen über die Monsune (Kap. VI, §. 7), dass wegen unzureichender Genauigkeit der auf hoher See angestellten Beobachtungen ein Viertheil der auf ein Eingradfeld entfallenden Daten diesem mit Unrecht zugerechnet werde, und wählte deshalb Zweigradfelder. Jedem mit der deutschen Seewarte in Verbindung stehenden Schiffsführer wird vor der Abfahrt ein Beobachtungsjournal überreicht, welches er nach seiner Rückkehr ausgefüllt wieder abzugeben hat, und hierauf üben die Beamten der Abtheilung daran eine in Notenziffern auszudrückende Kritik. Die gut qualificirten Bücher liefern eben das Material zur Begründung

einer Meteorologie der Gradfelder. Es leuchtet ein, dass, wenn etwa 20 Schiffe einen bestimmten kleinen Erdraum ziemlich zu derselben Zeit durchfahren und genaue Nachrichten über den damals herrschenden Witterungszustand mitgebracht haben, endlich eine sehr scharfe meteorologische Statistik dieses Territoriums fertiggestellt werden kann.

In dieser Weise kommen die sogenannten Segelanweisungen („Sailing directions") zu Stande, mittelst deren den Seefahrern die kürzesten Wege über den Ocean gewiesen werden [42], in erster Linie natürlich den Segelschiffen, da Dampfkraft, Rad und Schraube eine ziemlich hohe Unabhängigkeit gegenüber Wind und Wetter verleihen. In die Details dieser empirischen Vorschriften können wir hier nicht weiter eingehen. Natürlich gehören als Ergänzung zur Kunde der Seewege auch noch Kenntnisse über Tiefenverhältnisse und Hafenanlagen der verschiedenen Meere; jedes Heft der im Auftrage der deutschen Admiralität herausgegebenen „Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie" bringt neuen Stoff zur Vermehrung dieser Kenntnisse. Vgl. u. a. im 10. Jahrg. (S. 149) Schück's Angaben über Segelanweisungen der Carolinen-Insulaner.

§. 5. **Medicinische Meteorologie.** Während die in den ersten vier Paragraphen dieses Kapitels besprochenen Materien das Gepräge der Gemeinsamkeit an sich trugen, haben wir jetzt ein neues Feld zu betreten. Medicinische Meteorologie ist ein Sammeltitel für eine ganze Reihe wissenschaftlicher Fragen, welche nach allen Seiten hin in die Gebiete der Pathologie, der Hygieine und der Balneotherapie hineinreichen und unter sich zum Theile nur so lose zusammenhängen, dass wir uns nothwendigerweise mit Aphorismen begnügen müssen.

Untersuchungen über den Einfluss der Luftdruckverschiedenheit auf den menschlichen Organismus werden mehr und mehr angestellt. Denn die alte und in jedem Lehrbuche der Physik erörterte Behauptung, dass die Müdigkeit beim Bergbesteigen allein auf dem Bestreben des Schenkelknochens beruhe, aus der Pfanne bei nachlassendem Luftdrucke herauszugleiten, ist zwar an sich richtig, allein es spielen bei'm Zustandekommen des bekannten Erregungs- und Erschlaffungszustandes doch auch noch ganz andere physiologische Vorgänge mit. Eingehender scheint die Bergkrankheit, welche in Hochasien als „Bitsch ki Haua", in den Anden als „Sorocho", „Puna", „Mareo" bekannt ist, H. v. Schlagintweit studirt zu haben [43]. Diesem Autor zufolge tritt das Krankheitsgefühl früher und entschiedener bei Bergsteigern, als bei Luftschiffern auf; die höchste erträgliche Höhe dürfte diejenige von 11 000 m sein, was also den Gaurisankar (I. Band, S. 135) noch bei weitem übersteigt. Genaue Versuche sind ferner von Jourdanet und Bert angestellt worden, und Bouchut [44] berichtet über dieselben. Seine Thesen sind nachstehend angeführt: I. Höhen mit einem Drucke von 70 bis 75 cm erweisen sich den Menschen und höher organisirten Thieren günstig, weil die Kohlensäure leicht aus dem Blute ausgeschieden wird; II. Längerer Aufenthalt auf einer Höhe mit einem Drucke von 60 bis 65 cm wirkt im umgekehrten Sinne; III. bei allzu geringem Drucke nimmt die Absorptionsfähigkeit für Sauerstoff dermassen ab, dass eine Anämie mit den Symptomen des Schwindels,

der Ohnmacht und des Nasenblutens eintritt. Lartet erklärt dieses Krankheitsbild durch den mit abnehmendem Luftdrucke sich beschleunigenden Blutumlauf [45]; zudem vermindert die Muskelanstrengung die Körperwärme gar beträchtlich, bei einer Montblancbesteigung bis zu 6°. Mit Kohlensäure dagegen bleibt das Blut reich beladen und dadurch wird besonders die krankhafte Schläfrigkeit hervorgerufen.

Die Hygieine, diese in ihren Anfängen bereits auf Hippokrates hinaufreichende Wissenschaft (I. Band, S. 3 ff.), hat die Bedingungen zu untersuchen, unter welchen Boden und Luft keine der menschlichen Gesundheit nachtheilige Zusammensetzung haben, und es liegt deshalb am Tage, dass sie mit der Meteorologie im engsten Konnexe stehen muss. Schwefelwasserstoff z. B., der Luft in zu grosser Menge beigemischt, wirkt höchst schädlich, wo nicht unbedingt tödtlich, wie denn nach Hoh [46] stagnirende Kloakenluft 13,79 % Sauerstoff, 81,21 % Stickstoff, 2,01 % Kohlensäure, 2,99 % Schwefelwasserstoff enthält. Dagegen hat sich die Meinung derjenigen nicht bestätigt, welche in diesem Stoffe den Hauptträger der miasmatischen Blutvergiftung erblicken wollten; München und London hatten 1854, als die Cholera wüthete, eine schwefelwasserstofffreie Luft. Grosse Verdienste erwarb sich die Hygieine durch Analyse und Untersuchung der Kirchhofluft, indem dadurch eine Fülle von Vorurtheilen beseitigt und die Quantität der Verwesungsgase als eine in den allermeisten Fällen minimale nachgewiesen wurde [47]. Die Lehre von der Ventilation, von der Herstellung gesunder Wohnräume mit rationellen Heizvorrichtungen, wurde durch v. Pettenkofer's Versuche über das Hindurchstreichen der Luft durch die Poren der Baumaterialien, durch die Arbeiten von Wolpert und Recknagel fest begründet; eine populäre und doch exakte Darstellung der Hauptresultate gab J. Rosenthal [48]. In §. 2 des ersten Kapitels hatten wir uns mit der meteorologischen Bedeutung des Staubes zu beschäftigen; die Hygieine hat auch die Aufgabe, durch Prophylaxe aller Art gegen die Staubinhalations- und Gewerbekrankheiten zu schützen, welche zuerst Ramazzini in einem für seine Zeit klassischen Werke [49] behandelt hat, während der heute von der Wissenschaft erreichte Wissensstand in den Monographieen von Hirt [50] und Merkel [51] seine mustergültige Kennzeichnung findet. Diese Staubkörner sind noch makroskopische Gebilde, allein ausser ihnen birgt die Luft noch weit gefährlichere Krankheitsträger vegetativer Natur, welche erst unter dem Vergrösserungsglase als Mikrokokken oder Bacillen sich offenbaren und neuerdings — namentlich unter dem Einflusse der genialen Leistungen eines Pasteur und Koch — als der Urgrund sämmtlicher Infectionskrankheiten betrachtet werden.

Die geographische Pathologie kann der Meteorologie nicht entrathen. Hippokrates, Asklepiades, Galen bauten auf dem bereits von Herodot — in dessen Andeutungen über die Verschiedenheit der Gesundheitsverhältnisse bei Griechen und Aegyptern — gelegten Grunde fort, Averroes fügte einzelne kluge Bemerkungen neu hinzu [52]; seit der Mitte des XVII. Jahrhunderts aber trat diese Disciplin in ein ganz neues Stadium [53]. Bontius und Piso studirten die Tropenkrankheiten, Ramazzini beobachtete die Modifikationen des Wechselfiebers, Schnurrer's „Chronik der Seuchen" ist auch

für die physikalische Geographie eine Fundgrube. Allerdings machte der astrometeorologische Aberglaube noch manchen Strich durch die Rechnung*), allein der Fortschritt war nicht mehr zu unterdrücken. Einer der Marksteine desselben ist Charassieu d'Andebert's Lehrbuch der durch Wasserausdünstung entstehenden (Malaria-) Krankheiten [55]. Auch v. Haller's Versuch, die Mortalitätskurven der „Volkskrankheiten“ zu den Temperaturkurven des Jahres in Beziehung zu setzen, verdient ehrende Erwähnung [56]. Der Schöpfer der historisch-geographischen Pathologie ist Hirsch, der namentlich gegen jene übertreibenden Generalisationen auftritt, die früher vielfach üblich waren und auch in der sonst recht inhaltsreichen Meteorologie von Foissac-Emsmann [57] allzusehr sich in den Vordergrund drängen.

Zum Schlusse übrigt es uns noch, einen Blick auf die medicinische Klimatologie zu werfen. Celsus und Aretaeus waren sich schon im Alterthum ganz klar über den sanitären Gegensatz zwischen Höhen- und Tiefenklima**), und der Erstgenannte charakterisirt auch gar nicht übel den Zusammenhang gewisser Krankheitsformen mit den Windrichtungen [58]. Die Klimatotherapie, die Lehre von der Auswahl der einem erkrankten Organismus zu verordnenden Klima-Gattung, ist allerdings ein Kind der Neuzeit; Biedermann, Niemeyer, Beneke, Kisch haben dieselbe mehr unter dem medicinischen, der fleissige Mühry hat sie durch ein eigenes Werk [59] unter dem klimatologischen Gesichtspunkte gefördert, während über die therapeutische Bedeutung des Waldes besonders Hoh [60] sich verbreitet. Für den jungen Arzt, der, im Besitze der nothwendigen meteorologischen Vorkenntnisse, die Grundzüge der Klimatotherapie und der Lehre von den klimatischen Kurorten rasch sich einprägen will, eignet sich insbesondere das Werk von Kisch [61]. Derselbe theilt die Kurorte in solche für den Sommer und für den Winter und ausserdem in feuchte und trockene [62]; genaue Ermittelungen stellt er an über die Wirkungen des Ozon's [63]. Das Höhenklima soll in erster Linie die Hautthätigkeit vermehren, Blutbildung und Stoffwechsel befördern [64], das Seeklima — für dieses bedient sich der Autor der sonst nicht gebräuchlichen Eintheilung in feuchte, mittelfeuchte und trockene Seeklimate [65] — soll ebenfalls anregend und Stoffwechselbegünstigend wirken. Südliche Winterstationen haben bei Skrophulose und bei Krankheiten der Respirationsorgane ihre wohlbekannte Indikation [66]. Man ist noch nicht durchweg im Reinen über die physikalischen Bedingungen der erfahrungsmässig festgestellten Salubrität mancher Kurorte; nach vergleichenden Untersuchungen, die Volland [67] für Strassburg und Davos angestellt hat, scheint dem Rarefikationsgrade der Luft und ihrem Vermögen, Feuchtigkeit aufzunehmen, mehr Beachtung geschenkt werden zu müssen. Sehr viele Notizen über

---

*) Einige sprechende Proben dieser falschen Richtung können bei Mauritii [54] nachgesehen werden; auch gescheidte Leute entgiengen dieser Täuschung nicht, vielmehr schrieb selbst der sonst so verehrungswürdige Ramazzini (s. o.) dem abnehmenden Monde die Kraft zu, Pestepidemieen zu verschlimmern.

**) Nach Peez, dem Verfasser der „Volkswissensch. Studien“, sollen bereits unsere Altvordern im bayrischen Chiemgau vor einem Jahrtausend die beschwichtigende Macht des Höhenklima's auf kranke Lungen instinktiv erkannt und in der Praxis verwerthet haben.

gesunde und ungesunde Klimate enthält auch Hann's Handbuch, welchem wir u. a. den Hinweis auf die klimatischen Heilstätten der Zukunft, nämlich auf die Polarländer — und wiederum ganz besonders auf das durch seine reine Atmosphäre ausgezeichnete Spitzbergen [68] — entnehmen.

[1] Cock, Meteorologie oder der rechte Weg, vorher zu wissen, zu beurtheilen die Veränderung der Luft und Abwechselung des Wetters in verschiedenen Ländern, Hamburg 1691. — [2] Eisenlohr, Untersuchung über die Zuverlässigkeit und den Werth der gebräuchlichsten Wetterregeln, Karlsruhe 1847. — [3] Franceschini, Witterungskunde und Wetterprophezeiung, Neue Zeit, 1883. S. 86. — [4] Scultetus, Meteorographicum perpetuum, oder ewigwährende Practica, Görlitz 1588. — [5] Ellner, Wetteranzeigen aus der Thierwelt, Westermann's Monatshefte, 1862. Nr. 69. — [6] Schübler, Die Zugvögel als Witterungspropheten, Arch. d. Chem. u. Met., 4. Band. S. 399 ff. — [7] Schön, Beitrag zur Bestätigung der Schön'schen Regel, ibid. 2. Band. S. 382 ff. — [8] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, 3. Band, Halle 1836 S. 50. — [9] Clausius, Die Lichterscheinungen der Atmosphäre, dargestellt und erläutert, (Grunerts) Beitr. zur meteorol. Optik und zu verwandten Wissensch., 1. Band. S. 396. — [10] Buys-Ballot, Erläuterung einer graphischen Methode zur gleichzeitigen Darstellung der Witterungserscheinungen an vielen Orten, Ann. d. Phys. u. Chem., 4. Ergänzungsband. S. 559. ff. — [11] Franceschini, Witterungskunde etc., S. 90 ff. — [12] Ratzel, Physische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 304 ff. — [13] Wittmann, Vorschlag zu einer Vorhersagung der Witterung durch Mittheilung des elektrischen Telegraphen, Didaskalia vom 2. Oktober 1850. — [14] Brocard, Organisation actuelle du service météorologique en Europe, Alger 1881. — [15] Bruhns, Ueber das meteorologische Bureau für Witterungsprognosen im Königreich Sachsen, Leipzig 1879. — [16] Krebs, Wetterkarten und Wetterprognose, Frankfurt a. M. 1879. — [17] Die Physik im Dienste des täglichen Lebens, Stuttgart 1884. S. 113 ff. — [18] Günther, Die praktische Meteorologie der Gegenwart, Abhandl. d. naturf. Ges. zu Nürnberg, 7. Band. S. 119 ff. — [19] Tarry, Échange de télégrammes météorologiques entre l'Europe et l'Afrique, Bordeaux 1878. — [20] Hoffmeyer, Étude sur les tempêtes de l'Atlantique septentrional et projet d'un service télégraphique international relatif à cet océan, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 15. Band. S. 345 ff. — [21] Lorenz v. Liburnau, Ueber die Bedeutung und Vertretung der land- und forstwirthschaftlichen Meteorologie, Wien 1879. — [22] Schultz, Bemerkungen zum Berichte über Organisation des meteorologischen Dienstes im Interesse der Land- und Forstwirthschaft, Berlin 1879. — [23] Die Organisation eines meteorologischen Dienstes im Interesse der Land- und Forstwirthschaft für das Gebiet des Deutschen Reiches, Berlin 1879. — [24] van Bebber, Die Meteorologie im Dienste der Landwirthschaft, Deutsche Revue, 1877. — [25] Marinelli, Della opportunità di fondare un osservatorio meteorologico sulle nostri Alpi, Udine 1873. — [26] Buys-Ballot, Suggestions on a uniform system of meteorological observations, Utrecht 1872. — [27] Sohncke, Ueber Stürme und Sturmwarnungen, Berlin 1875. — [28] Organisation des Systemes und der Arbeit des Küstenwarnungswesens und der Küstenmeteorologie, Hamburg 1878. — [29] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 673 ff. — [30] Heliograph als Wettertelegraph, Gaea, 19. Jahrgang. S. 251. — [31] Gelcich, Studien zur Entwickelungsgeschichte der Schifffahrt, mit besonderer Berücksichtigung der nautischen Wissenschaften, Laibach 1882. S. 78 ff. — [32] A. Kirchhoff, ein sächsischer Weltumsegler des XVI. Jahrhunderts, Mittheil. d. Ver. f. Erdkunde zu Halle, 1881. S. 67 ff. — [33] Ruge, Bernhard v. Miltitz kein Weltumsegler, Arch. f. sächs. Geschichte u. Alterthumskunde, 3. Band. S. 66 ff. [34] Gelcich, Studien etc. S. 82. — [35] Neumayer, Der Weltverkehr zur See und die Geophysik in ihrer Wechselwirkung, Tagebl. d. 44. Versamml. d. Naturforscher und Aerzte, Rostock 1871. S. 160 ff. — [36] Maury, Die physische Geographie des Meeres, deutsch von Böttger, Leipzig 1856. — [37] Knorr-Kropp, Physical geographie of the Read-Sea, with sailing directions, Washington 1872. — [38] Toynbee, A discussion of the meteorology of a part of the Atlantic, London 1872. — [39] Evans-Hull, Wind and current charts for the Atlantic, Pacific and Indian Ocean, London 1872. — [40] Handbuch der Hydrographie und maritimen Meteorologie, 2. Band, Wien 1883. S. 653 ff. S. 821 ff. — [41] Neumayer, Bericht über

die Pflege der maritimen Meteorologie in Deutschland, Hamburg 1879. — [42] Schück, Ueber die Wege des Oceans für Segelschiffe, Hamburg 1874. — [43] v. Schlagintweit, Ueber den Einfluss der Höhe auf den menschlichen Organismus, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1. Band. S. 332 ff. — [44] Bouchut, De l'influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme, Mondes, (2) Vol. XXXVII. S. 572 ff. S. 614 ff. S. 649 ff. — [45] Lartet, Ueber die physiologischen Zustände beim Ersteigen grosser Berge, Ausland 1869. Sp. 1009 ff. — [46] Hoh, Die Physik in der Medicin, Stuttgart 1875. S. 379 ff. — [47] Ibid. S. 303. — [48] Die Physik des täglichen Lebens, S. 169 ff. — [49] Ramazzini, De morbis artificum diatribe, Ultrajecti 1703. — [50] Geigel-Hirt-Merkel, Handbuch der öffentlichen Gesundheitspflege und der Gewerbekrankheiten, Leipzig 1874. S. 383 ff. — [51] Ibid. S. 471 ff. — [52] Hoh, Die Physik etc., S. 420 ff. — [53] Ibid. S. 429. ff. — [54] Mauritii, Ueber den Einfluss der Mondphasen auf die Witterung, Wunsiedel 1841. — [55] Charassieu d'Andebert, Des inondations d'hiver et d'été ou traité spécial de l'humidité par rapport à l'homme et aux animaux, Paris 1806. — [56] Hoh, Die Physik etc., S. 438 ff. — [57] Foissac, Meteorologie mit Rücksicht auf die Lehre vom Kosmos und über ihre Beziehungen zur Medicin und allgemeinen Gesundheitspflege, deutsch von Emsmann, Leipzig 1859. — [58] Hoh, Die Physik etc., S. 479 ff. — [59] Mühry, Klimatologische Untersuchungen in Bezug auf Gesundheitspflege, Leipzig 1853. — [60] Hoh, Die Physik etc., S. 532 ff. — [61] Kisch, Grundriss der klinischen Balneotherapie einschliesslich der Hydrotherapie und Klimatotherapie, Wien-Leipzig 1883. — [62] Ibid. S. 218. — [63] Ibid. S. 226 ff. — [64] Ibid. S. 237. — [65] Ibid. S. 245 ff. — [66] Ibid. S. 247 ff. — [67] Volland, Ueber Verdunstung und Insolation, ein Beitrag zur besseren Kenntniss des Hochgebirgsklima's, Basel 1879. — [68] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 754.

Sechste Abtheilung.

Oceanographie und oceanische Physik.

Kapitel I.

Die allgemeinen Eigenschaften des Meerwassers und dessen Vertheilung auf der Erdoberfläche.

§. 1. **Begriff der Worte Meer und Meereskunde.** Wir bezeichnen durch das Wort Meer im Allgemeinen jede grössere Wasseransammlung dann, wenn dieses Wasser sich von demjenigen unserer Flüsse und Seen durch seinen Salzgehalt unterscheidet. Lediglich dieser Umstand kann als maassgebend angesehen werden, denn das kaspische Meer und das todte Meer würden, wenn ihre Becken mit Süsswasser angefüllt wären, zweifellos unter die Binnenseen gerechnet werden, wie denn z. B. das todte Meer von jedem der grossen nordamerikanischen Seen an Ausdehnung übertroffen wird*). Von der Eintheilung der Meere wird im nächsten Paragraphen die Rede sein.

Die Anfänge einer systematischen Abgrenzung und Behandlung der auf das Meer bezüglichen Theile der Erdkunde kann man hinauf bis zu den grossen Geographen des Alterthums, zu Strabon, Pomponius Mela, Ptolemäus verfolgen, wie denn auch Seleukos, mit dessen geographischen Ansichten uns Ruge bekannt gemacht hat [1], schon ganz richtige Gedanken über den Zusammenhang der Meere hegte. Bis in's XVII. Jahrhundert hinein gebrach es gänzlich an monographischen Arbeiten über das Meer und dessen geophysikalische Bedeutung. Als einen der ersten Versuche dieser Art glauben wir das vierte Buch in Porta's meteorologischem Werke [2] verzeichnen zu müssen; dasselbe steht jedenfalls auf der Höhe seiner Zeit und sucht, wie aus den recht bezeichnenden Kapitel-Ueberschriften — „De maris salsedine", „Aliquot maris problemata", „Quibus motibus moveatur

*) Als Provinzialismus erscheint das Wort „Meer" statt Landsee im Niedersächsischen; der kleine zwischen Hannover und Schaumburg-Lippe eingelagerte See wird dort standhaft das Steinhuder-Meer genannt.

mare“ — ersehen werden mag, dem Gegenstande wirklich gerecht zu werden. Der gewaltige Foliant, welchen der Jesuit Fournier der von ihm als „Hydrographie“ bezeichneten Disciplin widmete [3], ist allerdings ein Handbuch des Seefahrers überhaupt, enthält aber doch namentlich in seiner neunten, fünfzehnten und neunzehnten Hauptabtheilung die Keime zu einer wissenschaftlichen Darstellung der allgemeinen Fragen. Originell und mit Unrecht fast vergessen ist des Isaak Vossius Traktat von den Meeresbewegungen [4], auf welchen wir noch öfter zurückzukommen haben werden; an Selbstständigkeit der Behandlung überragt die kleine Schrift wenigstens in Einzelheiten das uns aus dem ersten Bande (S. 15) wohlbekannte Fundamentalwerk des Varenius, bei dem wir der bewussten Eintheilung der Erde (um H. Wagner's modernen Ausdruck zu gebrauchen) in eine Aero-, Hydro- und Lithosphäre und einer gesonderten Betrachtung jeder derselben begegnen; der zweitgenannten sind die Kapitel 12 bis 17 eingeräumt [5]. Buache's „Essai de géographie physique“ von 1752 (I. Band, S. 18) bezeichnet bei aller Einseitigkeit gleichwohl einen Markstein in der Geschichte unserer Spezialwissenschaft; charakteristisch für deren Entwickelung sind auch, ohne dass uns ein längeres Verweilen bei denselben verstattet wäre, die Arbeiten von Buffon, Kant, Bergman, G. R. Forster, und am Ausgange des Jahrhunderts begegnen wir wieder einem zusammenfassenden Lehrbuche, dem bald ein zweites von demselben Verfasser, Otto, nachfolgt [6].

Was A. v. Humboldt, C. Ritter, Berghaus u. a. im laufenden Jahrhundert geleistet haben, steht noch lebhaft in Aller Gedächtniss. Allmählig begann man die Physik des Meeres oder die physikalische Geographie des Meeres als einen mit voller Existenzberechtigung begabten Zweig der allgemeinen physischen Erdkunde anzuerkennen, wozu in erster Linie das treffliche Handbuch des Amerikaners Maury [7], in's Deutsche von Böttger übertragen [8], mitgeholfen hat. Neben den erwähnten Bezeichnungen bürgerte sich bald auch, als ziemlich synonym, das Wort Oceanographie ein, als Buchtitel anscheinend zuerst von Jilek verwendet [9]. Uns erscheint dasselbe insoferne minder passend, als dasselbe zu sehr den deskriptiven, zu wenig den erklärenden Theil unserer Wissenschaft zu betonen scheint; wir stimmen aus diesem Grunde mehr für die zusammenfassende Bezeichnung Meereskunde, als deren natürliche Bestandtheile dann eben Oceanographie und oceanische Physik zu gelten hätten. Neuere didaktische Schriften von mehr populärer Richtung sind diejenigen von Kayser [10] und Gelcich [11], denen noch der in einer polnischen Zeitschrift erschienene Abriss von v. Czerny [12] hinzuzurechnen ist. Unsere deutsche Literatur aber ist neuerdings durch zwei ganz vorzügliche Werke grösseren Maassstabes bereichert worden, nämlich einmal durch das im Auftrage der österreichischen Admiralität herausgegebene Sammel-Kompendium, an dessen Ausarbeitung sich sechs hervorragende Hydrographen betheiligt haben [13], und dann durch das Handbuch v. Boguslawski's [14], welches fast nach dem allzufrühen Hinscheiden seines trefflichen Verfassers dazu verurtheilt erschien, ein Torso zu bleiben. Für den mehr praktischen Theil der Meereskunde dient ein Werk [15], welches wir der Vorsorge der deutschen Admiralität verdanken.

§. 2. **Klassifikation der Meeresräume.** Die Aufgabe, eine morphologische Klassifikation der Meere zu liefern, ist eine schon alte und vielbehandelte, wie man aus dem ersten Kapitel der Schrift von Krümmel [16], aus den zu ihr von Wisotzki gelieferten Ergänzungen [17] und endlich aus der unlängst erst erschienenen Programmabhandlung [18] des letztgenannten Autors lernen kann. Die erste auf wissenschaftlicher Grundlage beruhende Eintheilung rührt her von Fleurieu [19], der die selbstständigen Oceane von den „mers méditerranées", die nur einen einzigen Eingang besitzen, und von den „mers intérieures" schied, welch' letzteren mehrere solche Eingänge zukommen. Dazu kommt, dass Fleurieu alle Einbuchtungen des Meeres unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zusammenfasste [20], wenn dieselben, wie es nach ihm bei der Hudsonsbay, beim weissen und rothen Meere, beim persischen Golf und bei der Ostsee der Fall ist, mehr oder weniger deutlich eine „Trichterbildung" („entonnier") aufweisen; eine an Varen anklingende Trennung der eigentlichen Meerbusen in breite und oblonge hatte bereits der Niederländer Struyck [21] in seinem Lehrbuche gegeben, welchem noch nachträglich der verdiente Ehrenplatz auf Seite 18 unseres ersten Bandes angewiesen sein möge. Im Uebrigen sind alle Systeme dieser Art von allzuweit getriebener Spezialisirung nicht frei zu sprechen, und so ergab sich eine solche Verwirrung in der hydrographischen Nomenklatur, dass 1845 die geographische Gesellschaft einen eigenen Ausschuss für die Prüfung der obschwebenden Fragen ernannte [22]. Seitdem gilt fast offiziell die allen Leitfäden der Erdkunde zu Grunde gelegte Fünftheilung der Oceane oder Weltmeere (atlantischer Ocean, indischer Ocean, grosser Ocean, auch Südsee und Pacifik genannt, südliches Eismeer und nördliches Eismeer). Die Abgrenzung des südlichen Eismeeres konnte lange nicht mit der erforderlichen Schärfe vorgenommen werden; wir stimmen aber Krümmel darin bei, dass J. Herschel's und Reuschle's Bemühungen um Herbeiführung einer solchen Schärfe nicht durchweg von Erfolg begleitet gewesen sind, und dass man jenes Eismeer auf die durch den südlichen Polarkreis bestimmte Kalotte beschränken soll, wogegen man als Marken der drei Oceane die resp. durch Kap Hoorn, durch das Kap der guten Hoffnung und durch die Südspitze Tasmanien's hindurchgelegten Meridiane anzusehen habe [23].

Die in Krümmel's Schrift den Geographen vorgelegte Eintheilung ist nun folgende. Es giebt selbstständige Meeresräume, deren Kennzeichen ein besonderes System der Meerescirkulation ist; das sind die drei uns bekannten offenen Oceane. Ferner die unselbstständigen Meeresräume, welche wieder — von dem vorläufig noch in einer Ausnahmestellung zu belassenden südlichen Eismeere abgesehen — in die zwischen grössere Land- und Kontinentalmassen eingeschalteten Mittelmeere und in die den grossen Landkomplexen angelagerten Randmeere zerfallen. Die Mittelmeere haben entweder nur an Einer Stelle eine Verbindung mit dem Ocean, wie das mittelländische Meer im engeren Sinne, das baltische Meer, das rothe Meer und der persische Golf, oder sie haben auf einer Seite zahlreiche Ausgänge, wie der mexikanische Golf, oder sie haben auf der einen Seite nur Einen Ausgang und auf der anderen deren mehrere,

wie das nördliche Eismeer, oder endlich es sind allenthalben zahlreiche Ausgänge vorhanden, wie bei'm indisch-australischen Meere. Die Randmeere muss Krümmel sich begnügen, nach ihrer Tiefe einzutheilen: flache Randmeere sind die Nordsee, der Kanal sammt der irischen See und das Tung-hai, tiefe Randmeere sind das japanische, das ochotski'sche Meer, das Berings-Meer und der Golf von St. Lorenz. Die Kriterien für die einzelnen Gattungen sind mit Geschick gewählt, nur hätten wir das für die Mittelmeere ganz unverwendbare Merkmal intensiverer vulkanischer Bethätigung, auf das ja Krümmel selbst keinen hohen Werth legt [24], ganz bei Seite gelassen gewünscht. Jedenfalls ist im Krümmel'schen Systeme an deskriptiver Gliederung alles nur Wünschenswerthe geleistet, und wenn Ackermann [25] als Zwischenmeere dem Kattegat und der Baffinsbay zu liebe eine neue Spezies einführen will, so möchten wir uns mit G. Gerland [26] gegen die bei den Naturhistorikern ab-, bei den Geographen zunehmende Klassifikationslust verwahren.

Bedenken gegen Krümmel's Principien formulirt Wisotzki [27], indem er namentlich darauf aufmerksam macht, dass jene in der Hauptsache nur auf die an der Meeresoberfläche erkennbare Cirkulation des Wassers Bedacht nehmen. Wir selbst möchten nicht verschweigen, dass uns der doppelte Gebrauch des Wortes Morphologie einigermassen stört, indem dasselbe bald in rein deskriptiver, bald auch — seinem wahren Sinne entsprechender — in einer mehr geophysikalischen Bedeutung uns entgegentritt. Gleichwohl erkennen wir in dem verdienstlichen Bemühen des am treuesten an das Vorbild des Meisters sich haltenden Schülers Peschel's eine sehr geeignete Basis, auf welcher weitergebaut werden kann. — Wisotzki hat in seiner Besprechung (s. o.) die Eintheilung der Mittelmeere durchgeführt, wie folgt. Mittelmeere erster Ordnung sollen das europäisch-afrikanische, das australisch-asiatische und das nord-südamerikanische Mittelmeer, Mittelmeere zweiter Ordnung sollen das weisse und baltische Meer, die Hudsonsbay, das rothe Meer und der persische Meerbusen sein. Das leitende Motiv dieser Klassifikation ist unschwer zu erkennen.

§. 3. **Die Vertheilung des Meerwassers.** Es gehört zu den interessanteren Aufgaben der geographischen Geschichtschreibung, urkundlich nachzuweisen, wie mit der Hinausrückung des Horizontes auch die Anschauung über das relative Grössenverhältniss von Land und Wasser an der Erdoberfläche eine stetige Aenderung erfahren hat. Unvermögend, an dieser Stelle mehr als einige fragmentarische Notizen über diesen Entwickelungsgang beizubringen, verweisen wir den eine gründlichere Belehrung suchenden Leser auf die sicherlich genügende Dissertation von Wisotzki [28]. Aristoteles und die zahlreiche Schaar der ihm blind Vertrauenden hielt selbstverständlich die Landbedeckung für überwiegend, und im scholastischen Mittelalter galt blos der siebente Theil des Gesammtareales unseres Planeten für oceanisch [29]*). Die Südhalbkugel wollte Ristoro der Aretiner

*) Es war ein Glück, dass diese Ueberzeugung in dem Kopfe des Columbus festeste Wurzel geschlagen hatte, denn nur dieser sein teleologischer Glaube half

allerdings aus astrologischen Gründen dem wässrigen Elemente überlassen, und damit verstiess er schon deshalb gegen keine der herrschenden Ansichten, weil man doch einem grossen Theil jener Halbkugel keine menschliche Bewohnerschaft zutrauen durfte; auch aus dem Texte des Ristoro erhellt, wie enge seine Theorie mit der gleichmässig von alexandrinischen Mystikern und von arabischen Phantasten begründeten Lehre von einer „Zona combusta seu inhabitabilis“ verwachsen war, welcher Gürtel bis zum Wendekreis des Steinbockes reichen sollte [31]*). Mehr und mehr nahm aber das Land an Grösse ab, das Meer an Grösse zu. Durch die portugiesischen Entdeckungen ward die von den Arabern zuletzt nur noch schwach vertheidigte Ansicht [33], dass die indische See zu den Binnenmeeren gehöre, endgültig beseitigt; jener dunkle Australkontinent, der eigentlich nur ein gigantisch vergrössertes Feuerland war, als „Brasilie regio“ oder „Brasilia inferior“ die Globen Schöner's und Philipp Apian's entstellte und in Wieser [34] einen trefflichen Darsteller gefunden hat, schwand zu äusserst bescheidenen Dimensionen ein, Steller vernichtete [35] den angeblichen Zusammenhang zwischen Amerika und Asien, und so ward endlich die Möglichkeit geschaffen, wissenschaftlich haltbare Werthe für das Verhältniss des Festen zum Flüssigen auszumitteln, doch war noch jetzt, wie wir hören werden, manch Vorurtheil zu überwinden.

Piccolomini z. B. sprach sich, wie Wisotzki berichtet [36], in seiner Monographie über diesen Gegenstand [37] sehr abfällig gegen einen Landsmann aus, der die Präponderanz des Wassers behauptet hatte. Coppernicus trat einen ganz sonderbaren Beweis dafür an, dass das Verhältniss des Wassers zum Lande $< 7 : 1$ sein müsse [38]. Nachdem Münster und Postellus gegen, Berga, Fromond und Benedetto für Piccolomini sich ausgesprochen hatten, kam man nach und nach zu der Ansicht, die beiden Elemente möchten wohl gleichmässig vertheilt sein, und diese erhielt sich bis zu Cooks zweiter, im Jahre 1775 abgeschlossener Reise [39]; der Hauptvertreter der geometrischen Seite der Lehre von der Flächengleichheit war Blancanus im fünften Buche seiner „Sphaera mundi“, die Vertreter der mechanischen Seite werden uns im nächsten Kapitel beschäftigen. Bei Riccioli [40] verhält sich das Land zum Wasser, wie 8 : 5, nach Leeuwenhoek aber schon wie 1 : 2. Lange Zeit hindurch erhielten sich in den Handbüchern rohe Verhältnisszahlen, die blossen Schätzun-

---

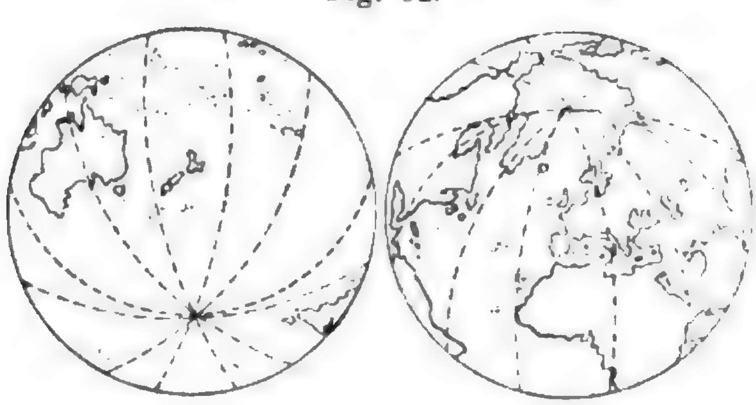
ihm über die sich ihm entgegenthürmenden Schwierigkeiten hinweg, wie Barros ausdrücklich bezeugt. Sein Glaube stützte sich freilich auf recht wenig beweiskräftige Vorlagen, auf eine Stelle in Seneca's Medea, auf einen vieldeutigen Ausspruch im ersten Buche Strabon's („καλοῦμεν γὰρ οἰκουμένην ἣν οἰκοῦμεν καὶ γνωρίζομεν· ἐνδέχεται δὲ ἐν τῇ αὐτῇ εὐκράτῳ ζώνῃ καὶ δύο οἰκουμένας εἶναι, ἢ καὶ τελείους, εἰ καὶ μάλιστα ἐγγὺς τοῦ δι' Ἀθηνῶν κύκλου τοῦ διὰ τοῦ Ἀτλαντικοῦ πελάγους γραφουμένου“) und auf das achte Buch in der „Imago mundi“ des gelehrten Vielschreibers Alliacus (s. I. Band, S. 11). Festeren Gefüges war einzig und allein das von Colon eingeholte Gutachten des florentinischen Astronomen Toscanelli, welches den Abstand „Indiens“ auf 130 Längengrade festsetzte [30].

*) Ristoro ist (I. Band, S. 12) der Meinung, dass die gestaltende und reliefbildende Kraft von jenem Theile des Himmelsgewölbes ausgehe, für welchen die Dichtigkeit der Sternvertheilung grösser sei, und welcher die Köpfe (!) der Thierkreisbilder in sich enthalte [32]. Da diess für die nördliche Hemisphäre zutreffe, so entfalle auf die südliche das nivellirende, formenfeindliche Element des Wassers.

gen entnommen waren. Erst Malte-Brun gieng methodisch vor und fand [41], wenn wir den von Festland überdeckten Flächenraum mit F, den von Wasser überdeckten mit W bezeichnen, F:W = 1 : 2, 31. Aeusserst mühsam, aber genau war die Methode Rigaud's, deren wir bereits im ersten Bande (S. 293) gedachten; der englische Gelehrte zerschnitt, was vor ihm schon Halley und Long angerathen hatten, die einem Globus entnommene Erdoberfläche in 96 Trapeze, wog jedes einzelne, nachdem er es in einen Land- und einen Wassertheil zertrennt hatte, und fand so [42], das Gewichtsverhältniss mit dem Flächenverhältniss identificirend, F : W = 1 : 2,76. Diesen Zahlwerth nahmen Humboldt und Ritter an, auch Dove fand denselben bestätigt [43], während Engelhardt die nicht allzusehr abweichende Proportion F:W = 1 : 2,827 ermittelte [44]. Behm-Wagner's neueste Bestimmung 1 : 2,765 ward durch Krümmels planimetrische Messungen (s. §. 4) bestätigt.

Ein besonders klares Bild von der Austheilung der Elemente gewinnt man, wenn man, einer fast gleichzeitig in Bode's „Anleitung zur Kenntniss der Erdkugel“ und in Fleurieu's früher citirten Abhandlung gegebenen Anregung folgend, die Erde in eine nordöstliche Landhalbkugel und in eine südwestliche Wasserhalbkugel zerlegt. Am besten geschieht diess durch eine stereographische Abbildung, zu deren Augenpunkten Paris und dessen Antipodenpunkt gewählt werden.

Fig. 62.



Unsere Fig. 62 stellt diesen Gegensatz vor Augen, nach C. Ritter [45] „den grössten und wichtigsten, den wir nächst dem klimatischen des Nordens und Südens auf der Erde kennen“.

§. 4. **Grössenverhältnisse der Hauptmeere.** Die neuesten und zweifellos besten, weil durchaus durch planimetrische Messung gewonnenen Zahlen für die Flächeninhalte der einzelnen Meere sind diejenigen, welche Krümmel angiebt [46]. Diesen zufolge ist der

Flächeninhalt	des	stillen	Oceans	= 175,6	Millionen	qkm
„	„	atlantischen	„	= 88,6	„	„
„	„	indischen	„	= 74,0	„	„
„	„	südlichen	Eismeeres	= 20,5	„	„
„	„	nördlichen	„	= 15,3	„	„

Hiernach beträgt das Gesammtareal des Meeres 374 000 000 Quadratkilometer. Wir bezeichnen diese Zahl wieder durch W.

Eine willkommene Bestätigung dieser Ziffer erhält man, sobald man das Gesammtareal der Festlandflächen aus der von Behm und Wagner hergestellten Tabelle im 6. Jahrgange des periodischen Werkes „Die Bevölkerung der Erde“ (Gotha 1880) entnimmt. Hiernach ist F (s. o.) = 136 055 371 qkm, wogegen die Oberfläche E der Erde ebendort nach Bessel'schen Formeln auf 509 950 714 qkm berechnet wird. Es ist mithin

$$W = E - F = 509\,950\,714 \text{ qkm} - 136\,055\,371 \text{ qkm} = 373\,895\,343 \text{ qkm}.$$

Die Uebereinstimmung mit dem Krümmel'schen Werthe ist eine um so vollkommenere, wenn man bedenkt, dass Behm und Wagner die Inselflächen nicht mit in ihre Berechnung aufgenommen haben.

§. 5. **Das Niveau des Meeres.** Dass dieses Niveau in Folge der verschiedenartigsten Umstände, unter denen die Anziehung der Festlandmassen in erster Linie steht, kein ganz regelmässiges, d. h. durch eine Flächengleichung ausdrückbares sein kann, davon haben wir uns im I. Bande (S. 191 ff.) zur Genüge überzeugt*). Gleichwohl kann in einem etwas eingeschränkten Sinne doch von einem Normalniveau die Rede sein, auf welches die Spiegelhöhe anderer entfernter Meere als Grundmaass bezogen werden darf. Hören wir, was hierüber ein Sachkenner, wie v. Boguslawski, bemerkt [49]: „In den Meeren ohne Ebbe und Fluth, wie z. B. in der Ostsee, kann man aus längeren, viele Jahre umfassenden Beobachtungsreihen an den bei verschiedenen Küstenpunkten errichteten Pegeln die mittleren Wasserstände herleiten, welche als Nullpunkte für die Höhenmessungen dienen könnten, wenn sie unter sich gleich gefunden würden, oder wenn wenigstens an einem Pegel in einer längeren Reihe von Jahren der mittlere Wasserstand als konstant sich erwiesen hätte. Diess letztere ist neuerdings nach den Pegelbeobachtungen von 1826 bis 1879 für Swinemünde behauptet worden, so dass hiernach das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde als Grund- oder Nullfläche für definitive Meereshöhen über der Ostsee angesehen werden könnte, und dass ferner die Ostsee zwischen Pillau und Kiel eine wirkliche Niveaufläche des Erdsphäroides bilden würde.“ Freilich stehen Hagen's Vergleichungen von dreizehn Pegelständen der Ostsee nicht in besonderem Einklange mit diesen wesentlich durch von Baeyer vertretenen Ansichten, und das konstante Mittelwasser der Ostsee kann noch keineswegs als eine völlig beglaubigte Thatsache gelten.

Lässt man die Annahme aber zu, so ergeben sich nach Bekanntmachung des Centralbureau's der europäischen Gradmessung [50] und mit Bezugnahme auf Seibt's Ostsee-Nivellement [51] die nachstehenden Niveaudifferenzen: I. Die Ostsee liegt über dem Mittelmeere (bei

*) Neuerdings ist auf die Frage der durch das benachbarte Festland verursachten Niveaustörungen Fr. Pfaff [47] eingegangen, allerdings nur mit Rücksicht auf die hieraus für die Lehre von den säkulären Hebungen und Senkungen entfliessenden Konsequenzen. In Fortsetzung seiner uns bereits bekannten verdienstlichen Untersuchungen über „physikalische Geodäsie“ [48] kommt ferner Helmert zu dem Schlusse, dass der Gegensatz zwischen Land und Meer das allgemeine (Referenz-)Sphäroid nicht in so hohem Grade deformirt, wie man vielfach glaubte, und wie auch wir an der oben citirten Stelle unseres ersten Bandes einzuräumen geneigt waren.

Marseille) 0,664 m oder nach einer anderen Messung 0,658 m. II. Der Nullpunkt des Amsterdamer Pegels liegt über der Ostsee 0,242 m. III. Das Mittelwasser der Nordsee liegt über demjenigen der Ostsee 0,093 m. IV. Das Mittelwasser bei Ostende liegt über demjenigen der Ostsee 0,066 m. V. Die Bucht von Biscaya überragt in ihrem normalen Niveau das mittelländische Meer (bei Alicante) um 0,663 m. Aus anderen Welttheilen fliessen die Nachrichten begreiflicherweise weit spärlicher, doch hat sich beispielsweise die für den projektirten Kanalbau sehr wichtige Thatsache herausgestellt [52], dass die durch das von General Bolivár 1829 angeordnete Nivellement angeblich eruirte Niveaudifferenz zwischen Pacific und mexikanischem Golfe in Wirklichkeit gar nicht existirt.

Die Lehre von den Meeresströmungen wird uns auf die Gründe zurückführen, durch deren Zusammenwirken der Erhaltung eines gleichmässigen Durchschnitts-Niveaus immer ein Riegel vorgeschoben wird. Aber auch die rein statischen Hindernisse, welche wir in der Lehre vom Geoid kennen lernten, dürfen hiebei niemals unterschätzt werden*).

§. 6. **Die Färbung des Meeres****). Halley's berühmt gewordene Versuche mit der Taucherglocke scheinen diesem umsichtigen Forscher auch zuerst den Anlass gegeben zu haben, sich um die Farbe des Meerwassers zu bekümmern; Newton schloss aus denselben, dass Grün als die vorwiegende Farbe anzusehen sei [55]. Dann nahm A. v. Humboldt auf seinen Seereisen den Gegenstand wieder auf und suchte die wechselnden Nuancen durch Grade seines Kyanometers (S. 132 dieses Bandes) auszudrücken [56]. Sorgfältige Versuche, bezüglich deren wir uns auf die eingehende Darstellung J. Müller's [57] stützen, hat Beetz angestellt; er schloss das zu prüfende Wasser in einen mit Glaswänden versehenen Kasten ein und zwang die Lichtstrahlen, durch mehrfaches Reflektirtwerden die nämliche Wasserschicht drei-, fünf- und siebenmal zu durchlaufen. Neuerdings ist Boas auf einige der hier in Frage kommenden Punkte in einer besonderen Schrift [58] eingegangen, auch v. Boguslawski räumt diesem Theile der Hydrophysik einige Seiten ein [59], das weitaus Bedeutendste aber, was in neuerer Zeit über die Wasserfärbung geschrieben wurde, stammt aus der Feder Spring's. An diese auch durch ihre Berück-

---

*) In neuerer Zeit hat W. Köppen, nach Rücksprache mit Zöppritz und in Uebereinstimmung mit früheren Arbeiten v. Wüllerstorf-Urbair's [53], einen neuen Vorschlag zur messenden Bestimmung der Niveau-Depression gemacht [54], welche, wie wir wissen, für die rein oceanischen, vom Festlande weit entfernten Theile der Meere stets vorhanden ist. Man soll nämlich auf dem Schiffe den Luftdruck nicht allein mit dem Quecksilber-, sondern auch mit dem Aneroidbarometer (S. 97 dieses Bandes) beobachten; da die Bewegungen des elastischen Metalles bei letzterem von der Schwere in keiner Weise beeinflusst sind, so würde eben die Differenz der Ablesungen ein Maass für die Aenderung der Schwere und damit auch ein solches für die Abweichung des wirklichen Seespiegels von einer Niveaufläche der Erdrinde darbieten.

**) Insoferne auf die Färbung des Meerwassers diejenige physikalische Eigenschaft, welche dasselbe anderem Wasser gegenüber besonders auszeichnet, nämlich der grosse Salzgehalt, in nicht besonders hohem Grade Einfluss übt, so glauben wir uns auch hier, wie schon mehrfach, einer kleinen Inkonsequenz schuldig machen und jetzt schon auch von der Farbe süsser Gewässer das Nothwendige sagen zu dürfen.

sichtigung älterer Leistungen ausgezeichnete Abhandlung [60] werden wir uns, wenn auch keineswegs ausschliesslich, im Folgenden besonders halten.

Dünne Wasserschichten, wie man sie in Gläsern u. s. w. gewöhnlich vor Augen bekommt, entbehren der Färbung gänzlich; wenn man z. B. von einem „schöngewässerten“ Diamanten spricht, so will man durch dieses Beiwort auf die absolute Farblosigkeit anspielen, Meere, Seen und Flüsse, also überhaupt grössere Wasseransammlungen, gewähren dagegen ein anderes Bild. Das Mittelmeer ist schön indigoblau, der Ocean himmelblau, der Genfersee azurblau, der Bodensee sammt dem ihn verlassenden Rhein, die Seen von Zürich und Luzern sind mehr grün als blau. Völlig grün ist u. a. der Klönthaler See im Kanton Glarus. Sehr stark schwankt die Farbe bei verschiedenen Seen des bayrischen Alpenvorlandes. Es fragt sich nun, ob man es hier mit subjektiven Erscheinungen oder mit einem wirklichen Faktum zu thun habe. Die besonders von Durocher vertretene und auch von Davy indirekt begünstigte Meinung, dass ein blauer See auf den Gletscherursprung des ihn erfüllenden Wassers hinweise, ist von Martins durch Thatsachen, widerlegt worden, wie denn z. B. der See von Bioson im Waadtlande, der von lauter prächtigen Gletschern gespeist wird, eine unschöne gelbliche Färbung hat. Gleiches gilt für den Brienzer See, wogegen wieder dem benachbarten See von Thun ein schönes, tiefes Blau eignet*). — Als etwas dem Wasser Inhärentes und Eigenthümliches erklärte zuerst Bunsen die Farbe, nachdem er das heisse Geysir-Wasser in langen Röhren untersucht hatte, und zwar entschied er sich für Blau als Grundfarbe [62]. Andere Farbentöne rührten von suspendirten Fremdkörpern her. Tyndall, Hagenbach-Bischoff und besonders Soret [63] sind hierauf wieder zurückgekommen, und die vom Erstgenannten begründete Theorie der Himmelsfarben als eines Interferenzphänomenes ward vom Letzteren auf den Genfersee übertragen und dadurch bestätigt, dass er das vom See entsandte Licht als senkrecht zu den einfallenden Sonnenstrahlen polarisirt nachwies.

Von besonderem Interesse ist es natürlich, das Absorptionsspektrum des Meerwassers zu untersuchen. Roth und Gelb erscheinen darin vollkommen ausgelöscht. Hätte nun das Blau des Wassers wirklich keine andere Ursache, als sie der Himmelsbläue zu Grunde liegt, so müsste das Roth der Dämmerung, der Reflex des Alpenglühens auch eine rothe Wasserfarbe erzeugen, wovon aber nichts

*) Wallmann schildert die Farbenverhältnisse unserer Gebirgsseen folgendermassen [61]: Grün sind Boden-, Zürich-, Vierwaldstätter-, Chiem-, Matt-, Ausseer-, Grundl- und Erlaf-See, smaragdgrün Königs-, Kochel- und hinterer Gosau-See, dunkelgrün Hallstätter-, Traun-, Veldeser-, Neuenburger-, Mond-, Comer- und vorderer Gosau-See, hellblau Waller- und Piller-See, tiefblau Achen-, Atter-, Fuschl-, Garda-, Wocheiner- und Walchen-See. Der Lago maggiore ist in seinem nördlichen Theile mehr grün, im südlichen tiefblau. Auf Hochseen kann man, wie wir unserem Gewährsmann aus eigener Erfahrung bestätigen können, häufig verschieden gefärbte Ringe unterscheiden, auch Orkane wirken auf den koloristischen Charakter einer Wasserfläche ein. Alle aus der Eiswelt kommenden und nicht durch ein Läuterungsbecken gereinigten Ströme zeigen die bekannte, an Milch erinnernde Färbung, wogegen sie einem solchen Becken oft in der wunderbar klaren Färbung entfliessen, wie sie die Traun bei Gmunden aufweist.

bekannt ist. Arago führte ein mit Luft gefülltes rechtwinkliges Hohlprisma in das Wasser ein, an dessen Hypotenusenfläche die Lichtstrahlen eine totale Reflexion erlitten, und glaubte auf diese Weise ermittelt zu haben, dass das Meer und auch jeder grössere See zwei nach Art und Entstehung verschiedene Farben besitze, eine grüne, die von durchgelassenem, und eine blaue, die von reflektirtem Lichte herrühre. Je nach der Tiefe wiege die eine oder andere vor: „voilà peut-être tout le secret, de ces nuances qui, pour le navigateur expérimenté, sont, dans un temps calme, l'indice certain et précieux des hautes-fondes.“ Wie soll es sich aber mit dieser Auffassung reimen, dass die Färbung vieler Seen der Schweiz von deren Tiefe nachweislich ganz unabhängig ist? Sainte-Claire-Déville nahm an [64], dass organische Stoffe die grüne Färbung des Rhein und des Doubs herbeiführten, allein diese von Wittstein im zehnten Bande der „Vierteljahrsschrift f. prakt. Pharmacie“ weiter entwickelte Theorie lässt sich in dieser Allgemeinheit gerade an der Hand der von Wittstein selbst ausgearbeiteten Tabellen bekämpfen [65].

Dass der Grad der Bläue mit der Menge des dem Wasser beigemengten Salzes im Zusammenhang stehe, hat v. Schleinitz bei seinen Fahrten mit der „Gazelle“ konstatiren zu können geglaubt, und Spring ist nicht abgeneigt, wenigstens theilweise auf den gleichen Boden zu treten [66]. Der belgische Naturforscher selbst experimentirte in der Weise [67], dass er zwei Glasröhren, 5 m lang und 4 cm im Lichten, durch Plangläser verschloss und in diese verschiedene Flüssigkeiten einführte. Dieselben empfiengen diffuses Tageslicht in der Richtung ihrer Axen. Da auch destillirtes Wasser stets nach einiger Zeit seine Farbe wechselte, so scheint Tyndall's Auffassung, dass auch das allerreinste Wasser nicht total der Beimischung organischer Substanzen entbehre [68], sich zu bestätigen. Abgesehen von diesem Farbenspiele konnte aber unzweideutig festgestellt werden, dass reines Wasser bis zu einer gewissen Dicke unter allen Umständen blau ist, und zwar scheint zur Erklärung dieses Umstandes blos an die Absorption der langwelligen Spektralfarben und nicht an Lichtreflexion gedacht werden zu müssen. Des Weiteren ergiebt sich aus Spring's Versuchen [69]: Blaues Wasser bleibt auch blau, wenn es Fremdkörper in nicht allzugrosser Menge und insbesondere wenn es farblose Salze im Zustande vollkommenster Dissolution enthält. Sowie ein Niederschlag nur ganz schwach sich vorzubereiten beginnt, tritt sofort die gelbe Farbe hervor, und durch Kombination dieses gelben Farbentones mit dem blauen Tone der Luft ergeben sich Misch- und Uebergangsfarben aller Art. Mit Rücksicht auf v. Schleinitz's Erfahrungen (s. o.) thut Spring zuletzt den beachtenswerthen Ausspruch [70]: „Tout s'explique, si l'ont tient compte du fait que le sel hâte la précipitation du silicate d'aluminium dont la présence dans l'eau contribue au développement de la couleur verte des eaux.“

Fassen wir all' diese Angaben zusammen mit den älteren Angaben eines G. R. Forster*), Davy, Scoresby, Maury u. A., mit

*) Dieser grosse Reisende scheint sich nach Rittau [71] der vorgefassten Meinung, dass das Himmelsblau sich im Wasser abspiegle, nicht haben entziehen zu können.

den Versuchsergebnissen von Boas (s. o.), mit H. Vogels spektroskopischer Zerlegung des Wasserlichtes aus der blauen Grotte und namentlich mit den neuerdings von Soret [72] für die von den Sinkstoffen gespielte Rolle gewonnenen Ergebnissen, so können wir unser Wissen von der Farbe des Wassers in folgenden Satz zusammenziehen*):

Das Wasser ist an sich blau, andere Färbungen werden, allerdings durch einen noch nicht ganz aufgeklärten Process, durch beigemengte feste Substanzen bedingt, und zumal der grössere Salzgehalt bringt Aenderungen in dem Intensitätsgrade des Blau zuwege. Ob, wie v. Boguslawski glaubt [75], auch die Temperatur im letzgenannten Sinne sich äussert, muss noch fraglich bleiben. Die grüne Farbe („discoloured water") deutet häufig auf schlammigen Meeresboden.

Warum einzelne Meere geradezu eine Farbenbezeichnung an sich tragen (schwarzes Meer, gelbes Meer, rothes Meer), dafür lässt sich heutzutage nicht immer mehr ein recht stichhaltiger Grund beibringen. Das rothe Meer hat eine blaugrüne Farbe, auf hebräisch und koptisch heisst es „Schilfmeer". Branky theilt mit [76], dass es auf einer Inschrift allerdings als „Gewässer des rothen Landes" vorkommt und dass der Bischof Thietmar im XIII. Jahrhundert den Namen auf die rothe „terra circumjacens" zurückführte, dass aber nach Raffael dasselbe wirklich roth malte. Wahrscheinlich stammt die Namengebung von den röthlich schimmernden Korallenbänken her.

§. 7. **Die Durchsichtigkeit des Meeres.** Nach Bouguer's Rechnungen [77] müsste die Durchsichtigkeit der freien Oceane gerade bei einer Tiefe von 200 m aufhören, und sein grosser Nebenbuhler Lambert bemerkt dazu [78]: „Neque video, quomodo aliter res peragi possit." Jedermann weiss aber, dass der Grad der Transparenz für verschiedene Meere auch eine höchst verschiedene ist. Schon im vorigen Jahrhundert wurden auf dem Schiffe „Coquille" vergleichende Versuche in dieser Hinsicht angestellt, über deren Ausgang Muncke, wie folgt, berichtet [79]: „Es wird ein weisses Brett an Schnüren hinabgelassen, und dann die Tiefe gemessen, wo es aufhörte, sichtbar zu sein. Dieses fand statt bei der Insel Waigion in 59 Fuss Tiefe und bei ganz heiterem Himmel in 73,3 Fuss, bei Port Jackson in 38,3 Fuss, bei Neuseeland in 35 Fuss und bei Ascension zwischen 28 und 36 Fuss Tiefe." Bekannt ist die Klarheit der italienischen Gewässer, welche zu Taucherkunststücken aller Art herausfordert:

*) Böttger hat mit Recht darauf aufmerksam gemacht [73], dass ganz gesunde Ansichten über den Antheil der Salze bei'm Zustandekommen der blauen Meeresfarbe sich bereits in dem Werke des uns bereits von früher (I. Band, S. 285) her erinnerlichen Grafen L. F. Marsigli finden, welches ursprünglich italienisch abgefasst war, dann aber durch Boerhave auch französisch herausgegeben wurde und einen für jene Zeit recht annehmbaren Lehrbegriff der Meereskunde darstellt [74]. Er nahm an, dass bezüglich der Färbung das Oberflächenwasser und das Wasser der Tiefsee ganz verschiedenen Bedingungen unterlägen. — Tyndall bemerkt in seiner algerischen Reisebeschreibung, die das Anhangskapitel zu seinem bekannten Werke „In den Alpen" (Braunschweig 1872) bildet, dass das Mittelmeer stets dann an Bläue zunehme, wenn die Menge der suspendirten Stoffe sich vermindere.

bei Novaja Semlja soll Wood im Jahre 1676 den auf 145 m gelotheten Grund deutlich gesehen haben [80].

Genaue Experimente messender Natur sind mit dem uns aus dem dritten Kapitel der vorigen Abtheilung bekannten Wild'schen Diaphanometer angestellt worden [81]. Es fand sich, dass schon eine 5 m lange Schicht reinen Wassers $^2/_3$ aller durchgehenden Strahlen verschluckt, dass eine 300 m lange Schicht bereits gar kein Licht mehr hindurchlässt, und dass der Durchsichtigkeitskoefficient des Wassers mit wachsender Temperatur abnimmt. Ueber den Zusammenhang der Grösse dieses Koefficienten mit dem Salzgehalte scheint noch wenig festgestellt zu sein, doch ist eine solche Beziehung der Natur der Sache nach zweifellos vorhanden, und sie folgt auch aus dem von Spring (a. a. O.) aufgestellten Satze: Ein Strahl von gegebener Intensität durchdringt niemals völlig eine hinlänglich dicke Flüssigkeitsschicht mit darin suspendirten festen Stoffen, mögen diese auch noch so farblos und diaphan sein.

§. 8. **Pflanzenmeere.** Ob der Name grünes Meer, der z. B. für den persischen Meerbusen hie und da gebraucht wird, auf die zahlreich darin schwimmenden Kräuter und Seepflanzen zu beziehen ist, mag dahingestellt bleiben, doch kann nicht geleugnet werden, dass das besonders starke Auftreten gewisser organischer Körper recht wohl das äussere Aussehen des Meeres charakterisiren kann. Das kalifornische „Purpurmeer" („mar vermejo") z. B. enthält zahllose kleine Krebse und Krabben, und das gelbe Meer massenhaft gelbe Algen [82]. Brun's Meinung, dass überhaupt mikroskopisch kleine Algen die eigentlichen Träger der Meeresfärbung sein könnten, kann Sprung (a. a. O.) nicht theilen. Wohl aber giebt es eigentliche Pflanzenmeere oder Krautwiesen, Meerestheile, in welchen das Wasser über der darüber gelagerten fluktuirenden Pflanzendecke fast verschwindet.

Humboldt [83] und Merrifield [84] haben es wahrscheinlich zu machen gewusst, dass schon die Alten, Aristoteles und Skylax (in seinem „Periplus"), eine Kenntniss von dem ausgedehnten Pflanzenmeere besassen, welches im nördlichen Theile des atlantischen Oceans zu finden ist. Columbus durchfuhr als der Erste dieses Gebiet und nannte es „Sargazo". Hieraus entstand der jetzt übliche Terminus Sargasso-Meer. Die als „Sargassum" in verschiedenen Spezies vorkommende Pflanze, welche hauptsächlich das Material zu diesen Meereswiesen liefert, kommt in allen Meeren vor, hauptsächlich aber im Atlantik zwischen den Azoren einerseits, den Bahamas- und Bermudasinseln andererseits.

Phantastische Vorstellungen von der Dichte und Kompaktheit des atlantischen Sargasso-Meeres hat, nach Drude's Angabe [85], bereits der kluge holländische Muschelkenner Rumphius zurückgewiesen. Es war aber doch sehr dankenswerth, dass auch einmal ein Naturforscher der Neuzeit der Sache näher trat, wie diess von Seiten Kuntze's [86] geschah. Wir wissen jetzt, dass die Sargassopflanze nicht etwa sich von selbst im Meere weiter vermehrt, dass es eine selbstständige marine Vegetationsform des Sargassums nicht giebt, und dass lediglich durch Meeresströmungen und Gezeiten die vom Festlande abgeris-

senen Pflanzen zu mehr oder minder grossen Anhäufungen vereinigt werden. Die Oceanographie scheint, wenn Kuntze Recht behält, den im Meere umherschwimmenden Pflanzen bisher allzuviele Ehre erwiesen zu haben.

§. 9. **Meeresleuchten.** Der phosphorescirende Schein, welcher namentlich das Kielwasser der Schiffe belebt und auch die aus dem Wasser herausgehobenen Ruder mit einem wahren Funkenregen umgiebt, ist von je bei uns als Leuchten des Meeres bekannt, während die Sprache keines anderen Volkes es zu einem gleich bezeichnenden Worte dafür gebracht hat. Ob wirklich Amerigo Vespucci der Erscheinung zuerst gedenkt, das möchten wir mit Muncke ernstlich bezweifeln [87], um so mehr, da auch Plinius und andere Schriftsteller des Alterthums einige Bekanntschaft mit dem Meeresleuchten verrathen. Boyle, Canton, Nollet, Bartholin, Forskäl (das bekannte zoologische Mitglied der dänischen Expedition nach Arabien) u. A. beschäftigten sich angelegentlich mit der Erklärung der schönen Erscheinung, und immer klarer stellte sich heraus, dass kleine Thiere den eigentlichen Grund derselben bildeten, doch glaubte noch Forster, dem Buffon und Labillardière zur Seite standen, dass nebenher auch noch eine eigenthümliche Elektricitätsentwickelung mit im Spiele sei [88]; nach Legentil sollte die Reibung des Schiffskieles mit dem Wasser hiefür die Ursache abgeben [89]. A. v. Humboldt dagegen gab zuerst mit kurzen Worten die ganz richtige Erklärung, indem er sagte [90]: „Das Leuchten des Meeres wird theils durch lebendige Lichtträger, theils auch organische Fasern und Membranen bewirkt, die ihren Ursprung der Zerstörung jener lebendigen Lichtträger verdanken."

Als solche leuchtende Lebewesen kann man nach Kayser [91] betrachten gewisse Krustaceen und Meerwürmer, einige Salpen, Seesterne, Seerosen und Polypen, deren Leuchtzustand uns besonders die Untersuchungen von Möbius [92] erschlossen haben, besonders aber jene Leuchtinfusorien, mit welchen uns Michaelis [93] und Ehrenberg [94] bekannt machten. Meyen's Leuchtpflanze („Oscillatoria phosphorea") bedarf noch weiterer Bestätigung [95]. Th. Studer's Beobachtungen [96] belehren uns darüber, dass bei den allermeisten Thieren, welche der pelagischen Fauna zugerechnet werden, ein äusserer Reiz intermittirend-phosphorescirende Lichterscheinungen auslöst; das Leuchten selbst ist entweder an gewisse Hautstellen oder an die dem Stoffwechsel besonders stark unterworfenen Organe geknüpft. Das Thier bedient sich seiner Leuchtkraft gewissermassen als einer Schutzvorrichtung.

Als eine besondere Spezialität, welche kaum*) auf die Thierwelt als Ursache zurückgeführt werden kann, muss das Erglänzen der See in milchweissem Lichte angesehen werden, dessen als „mer de lait" oder auch als „Wintermeer" — wegen der Aehnlichkeit mit einer schneebedeckten Landschaft — Erwähnung gethan wird.

---

*) Nach den Erfahrungen Trébuchet's, deren v. Boguslawski (a. a. O.) gedenkt, würde allerdings auch in diesem Falle die Leuchtaktion unzähliger Thierchen von milchweisser Färbung das Maasgebende sein.

v. Boguslawski führt die Fälle einzeln an, in welchen eine solche Wahrnehmung gemacht ward [97]. Aus neuester Zeit wird von einem deutschen Schiffe berichtet, dass dasselbe Nachts um zehn Uhr in der Nähe der Insel Sokotora sich dem äusseren Anscheine nach förmlich durch eine Schneedecke Bahn brechen musste, indem es einen pechschwarzen Streifen hinter sich zurückliess [98]. Wir haben also hier einen dem gewöhnlichen Meeresleuchten geradezu entgegengesetzten Vorgang zu verzeichnen.

[1] Ruge, Der Chaldäer Seleukos, Dresden 1865. — [2] Porta, De aëris transmutationibus libri IV, Romae 1614. S. 127 ff. — [3] Fournier, L'hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes parties de la navigation, Paris 1643. — [4] J. Vossius, De motu marium et ventorum liber, Hagae Comitis 1663. — [5] Varenius, Geographia generalis, Amstelodami 1671. S. 113 ff. — [6] Otto, Abriss einer physikalischen Erdbeschreibung, 1. Theil (Hydrographie), Berlin 1800; Abriss einer Naturgeschichte des Meeres, Berlin 1808. — [7] Maury, The physical geography of the sea, Newyork 1855. — [8] Maury, Die physische Geographie des Meeres, deutsch von Böttger, Leipzig 1856. — [9] Jilek, Lehrbuch der Oceanographie, Wien 1857. — [10] Kayser, Physik des Meeres, Paderborn 1873. — [11] Gelcich, Grundzüge der physischen Geographie des Meeres, Wien 1881. — [12] v. Czerny, Zarys geografij fizycnej oceanu, Lemberg 1877. — [13] Attlmayr-Köttstorfer-Luksch-E.Mayer-Salcher-J.Wolf, Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie, Wien 1883 *). — [14] v. Boguslawski, Handbuch der Oceanographie, 1. Band, Stuttgart 1884. — [15] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882. — [16] Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879. — [17] Wisotzki, Recension hiezu, (Königsberger) Wissensch. Monatsbl., 7. Jahrgang. S. 120 ff. — [18] Wisotzki, Die Klassifikation der Meeresräume, ein Beitrag zur Geschichte der Erdkunde, Stettin 1883. — [19] Voyage autour du monde par E. Marchand, précédé par les observations sur la division hydrographique du globe et changements proposés dans la nomenclature générale et particulière de l'hydrographie par Cl. Fleurieu, Vol. IV., Paris an VIII. S. 1 ff. — [20] Ibid. S. 37. — [21] Struyck, Inleiding tot de algemeene geographie, Amsterdam 1740. S. 101 ff. — [22] Krümmel, Versuch etc. S. 14. — [23] Ibid. S. 18. — [24] Ibid. S. 30. — [25] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. — [26] G. Gerland, Recension hiezu, Deutsche Literaturzeitung, 1884. S. 594. — [27] Wisotzki, Die Klassifikation etc., S. 25. — [28] Wisotzki, Die Vertheilung von Wasser und Land an der Erdoberfläche, Königsberg 1879. — [29] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1854. S. 470. — [30] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Carl Ritter und Alexander v. Humboldt, München 1877. S. 240 ff. — [31] Ibid. S. 154. — [32] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo pubblicata da E. Narducci, Roma 1859. S. 19 ff. — [33] Peschel-Ruge, Geschichte etc., S. 142 ff. — [34] Wieser, Magalhaēns-Strasse und Austral-Kontinent auf den Globen des Johannes Schöner, Innsbruck 1881. — [35] Steller, Beschreibung von dem Lande Kamtschatka, Frankfurt und Leipzig 1874. Anhang, S. 41 ff. — [36] Wisotzki, Die Vertheilung etc., S. 18 ff. — [37] Piccolomini, De aquae et terrae magnitudine liber unus, Basileae 1568. — [38] Nicolaus Coppernicus aus Thorn, Ueber die Kreisbewegungen der Weltkörper, deutsch von Menzzer, Thorn 1879. S. 12. — [39] J. R. Forster's Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt, deutsch von G. Forster, Berlin 1783. S. 58 ff. — [40] Riccioli, Geographiae et hydrographiae reformatae libri XII, Bononiae 1661. Bl. 5. — [41] Malte-Brun, Précis de la géographie universelle, tome II., Paris 1812. S. 166. — [42] Rigaud, On the relative quantities of land and water on the surface of the terraqueous globe, Transact. of the Cambr. phil. society, Vol. VI. S. 289 ff. — [43] Dove, Ueber die Verhältnisse des Festen und Flüssigen auf der Erdoberfläche, Zeitschr. f. allgem. Erdkunde, (2) 12. Band. S. 111 ff. — [44] Engelhardt, Der Flächenraum der einzelnen Staaten in Europa und der übrigen Länder auf der Erde, Berlin

*) Künftig, wie auch bisher schon manchmal, einfach als „Handbuch etc.“ bezeichnet.

1853. — [45] C. Ritter, Allgemeine Erdkunde, herausgeg. von Daniel, Berlin 1862. S. 51. — [46] Krümmel, Neue Areale für die Meeresräume, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Jahrgang. S. 73. — [47] F. Pfaff, Zur Frage der Veränderungen des Meeresspiegels durch den Einfluss des Landes, Zeitschr. d. d. geol. Gesellschaft, 36. Band. S. 1. ff. — [48] Helmert, Die mathematischen und physikalischen Theorieen der höheren Geodäsie, 2. Theil, Leipzig 1884. — [49] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 35. — [50] Ueber die Höhenverhältnisse der Europa umschliessenden Meere, Naturforscher, (2) 10. Jahrgang. S. 347 ff. — [51] Seibt, Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde, Berlin 1881. — [52] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 37. — [53] v. Wüllerstorf-Urbair, Zur wissenschaftlichen Verwerthung des Aneroides, Wien 1871. — [54] Köppen, Das Barometer als Schweremesser, Meteor. Zeitschr., 1. Jahrgang. S. 323 ff. — [55] Newton, Optice, herausgeg. von Clarke, Londini 1706. Lib. II, 1. — [56] Humboldt, Reise in die Aequinoktialgegenden, deutsch von Hauff, 1. Theil, Stuttgart 1815. S. 384. — [57] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 396. — [58] Boas, Beiträge zur Erkenntniss der Farbe des Wassers, Kiel 1881. — [59] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 173 ff. — [60] Spring, La couleur des eaux, Bull. de l'ac. royale des sc. de Belgique, 1883. S. 55 ff. — [61] Wallmann, Farbe der Alpenseen und Alpengewässer, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 4. Band. S. 164 ff. — [62] Bunsen, Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie, 1. Band. S. 1236 ff. — [63] Soret, Sur la polarisation de la lumière bleue de l'eau, Ann. de chim. et de phys., (4) tome XIII. S. 517 ff. — [64] Sainte-Claire-Déville, Sur la composition des eaux potables, ibid. (3) tome XXIII. S. 32 ff. — [65] Spring, La couleur etc., S. 63 ff. — [66] Ibid. S. 65 ff. — [67] Ibid. S. 67 ff. — [68] Tyndall-Gravez, Fragments scientifiques, Paris 1877. S. 48. — [69] Spring, La couleur etc., S. 76 ff. — [70] Ibid. S. 84. — [71] Rittau, Johann Reinhold Forster's Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt, Hanau 1881. S. 19. — [72] Soret, Die Farbe des Wassers, Gaea, 20. Jahrgang. S. 397 ff. — [73] Maury, Die phys. Geogr. etc., S. 12. — [74] Marsigli, Brieve ristretto del saggio fisico intorno alla storia del mare, Bologna 1711; Histoire physique de la mer, Amsterdam 1725. — [75] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 175. — [76] Branky, Ueber die Farbe des rothen Meeres, Zeitschr. f. Schulgeogr., 4. Jahrgang. S. 244. — [77] Bouguer, Traité d'optique sur la gradation de la lumière, Paris 1760. S. 65. — [78] Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae, Augustae Vindelicorum 1760. S. 224. — [79] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 6. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1837. S. 1708. — [80] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 183. — [81] Müller, Kosm. Phys., S. 145 ff. — [82] Kayser, Phys. des Meeres, S. 158. — [83] A. v. Humboldt, Kritische Untersuchungen über die Geschichte der Geographie des neuen Kontinentes und über die Fortschritte der nautischen Astronomie im XV. und XVI. Jahrhundert, deutsch von Ideler, 3. Band, Berlin 1852. S. 51. — [84] Merrifield, Gulf-Weed, Nature, Vol. XVIII. S. 709. — [85] Drude, Bericht über die Fortschritte in der Geographie der Pflanzen, Wagner's geogr. Jahrbuch, 9. Band, Gotha 1883. S. 205. — [86] Kuntze, Revision von Sargassum und das Sargasso-Meer, (Engler's) Bot. Jahrbücher f. Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie, 1. Band. S. 191 ff. — [87] Gehler's Phys. Wörterbuch, 2. Aufl. 6. Band, 3. Abtheil., S. 1716. — [88] Rittau, J. R. Forster's Bemerk. etc., S. 21 ff. — [89] Legentil, Voyage dans les mers de l'Inde, Vol. I., Paris 1779. S. 685 ff. — [90] Humboldt, Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen, 2. Band, Stuttgart und Augsburg 1859. S. 67. — [91] Kayser, Phys. d. Meeres, S. 196 ff. — [92] Möbius, Das Meerleuchten, Hamburg 1861. S. 16 ff. — [93] Michaelis, Ueber das Leuchten des Meeres, Hamburg 1830. — [94] Ehrenberg, Ueber das Leuchten des Meeres, Berlin 1834. — [95] Kayser, Phys. d. Meeres, S. 201. — [96] Th. Studer, Ueber einige wissenschaftliche Ergebnisse der Gazellen-Expedition, namentlich in zoogeographischer Beziehung, Verhandl. des II. Deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 41 ff. — [97] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 179. — [98] Ein gespenstisches Meerleuchten, Gaea, 18. Jahrgang. S. 746 ff.

Kapitel II.

Physiographie der Meeresbecken.

§. 1. **Zur Nomenklatur.** Unter dem Worte Physiographie verstehen wir eine beschreibende Darstellung der gestaltlichen Verhältnisse der Meeresräume. Die verschiedenen Formen der das feste und flüssige Element von einander scheidenden Trennungslinien, die Gliederung der in das Festland eindringenden Meerestheile, Tiefenverhältnisse und Bodenplastik fallen in den Bereich dieses Kapitels. Dagegen soll die verschiedenartige Einwirkung des Meerwassers auf das angrenzende Land uns hier noch nicht beschäftigen, sondern einem besonderen (dem zweiten) Kapitel der nächsten Abtheilung vorbehalten bleiben. Dagegen wird das Erforderliche über die Beschaffenheit des Meeresgrundes in naturhistorischer Beziehung schon an diesem Orte gesagt werden müssen.

Meeresbecken wird die zusammenhängende Einsenkung der Erdoberfläche genannt, welche mit Salzwasser von ganz oder nahe übereinstimmendem Niveau (s. o.) ausgefüllt ist [1]. Doch ist es wohl erlaubt, auch einzelne Theile des Ganzen mit dem gleichen Namen zu belegen und von einem Becken des schwarzen Meeres, des Mittelmeeres u. s. w. zu sprechen. Ein Meerbusen oder Golf heisst jede ausgiebige Einbuchtung des Landes dann, wenn die Verbindung mit dem freien Meere eine weite und freie ist; Einschnitte von verhältnissmässig geringen Dimensionen sind die Buchten und Bayen. Vermindern sich die Dimensionen in sehr erheblicher Weise, so nennt man die Buchten Rheden, und schliesst das Festland kleine Wasserbassins so vollständig ab, dass dieselben nur noch durch einen verhältnissmässig schmalen Arm mit der offenen See in Verbindung stehen, so hat man es mit Häfen zu thun. Verbindet der Arm zwei selbstständige Meerestheile, so wird er mit einem der ziemlich synonymen Ausdrücke Meeresstrassen, Sunde, Kanäle und Meerengen bezeichnet.

Jeder besonderen Gestaltung der flüssigen steht natürlich auch eine besondere Gestaltung der festen Oberfläche zur Seite. Was Halbinseln sind, darf hier als bekannt vorausgesetzt werden; ebenso, dass dieselben, wenn sie sehr weit vorspringen, den Namen Landzungen führen. Schmale Landgebiete, durch welche grössere Festlandkomplexe kommuniciren, sind Landengen oder Isthmen (Korinth, Panamá). Die Spitzen vortretender Festlandgebiete figuriren als Vorgebirge, Kap's und Nasen; letztere Bezeichnung findet besonders gerne auch bei Landseen Anwendung. Obwohl Insel dem strengen Wortsinne nach jeden ganz von Meerwasser umschlossenen Trockenraum bedeutet, so ist man doch übereingekommen, diesen Namen nicht auch zugleich für die drei selbstständigen Festlandmassen — Kontinente, Welttheile, Erdtheile — zu gebrauchen, als welche die sogenannte alte Welt, sowie Amerika und Australien zu gelten haben. Meeresgegenden mit besonders reicher Inselbedeckung heissen wohl

Archipele oder Inselmeere. „Während die Linien, in w[illegible] die Festlandmassen mit dem flüssigen Elemente in Berührung t[illegible] die Küstenränder bilden, bezeichnet man das unmittelbar a[illegible] See stossende Land als Küste (auch Gestade) und das G[illegible] bis wohin maritime Einflüsse sich geltend zu machen pflege[illegible] Küstenland oder Küstengebiet ... Die Bezeichnung Ufe[illegible] ist sowohl bei'm Meere, wie bei den Seen und Flüssen gebräuchlic[illegible] bei letzteren die ausschliessliche Bezeichnung, während Strand fü[illegible] vegetationslose, in den Konturen einförmige und der See zu flach ve[illegible] laufende Küsten gebraucht wird" [2]*).

§. 2. **Meeres- und Küstengliederung.** Es erhebt sich, nachdem wir bisher rein beschreibend vorgegangen sind, die Frage, ob es zu[illegible] gängig ist, die geschilderten Verhältnisse auch auf vergleichbare Zahlwerthe zu beziehen und solchergestalt in die Physiographie des Meeres, die an und für sich keinen mathematischen Charakter beansprucht, ein arithmetisch-geometrisches Element hineinzutragen. Versuche dieser Art sind in neuerer Zeit unternommen worden, und zwar nicht ohne Glück. So hat Krümmel [4] den Begriff der mittleren oceanischen Zugänglichkeit eingeführt; dieselbe ist gleich dem Verhältniss der durch Wasser gebildeten Grenze zum Gesammtumfange des betreffenden Meeresbeckens und beträgt nach der vom Autor beliebten procentualen Berechnung bei'm nordatlantischen Meere 15 %, bei'm südatlantischen 43 % jenes Umfanges. A. Kirchhoff glaubte das von Krümmel angestrebte Ziel, ein Maass für die Zugänglichkeit eines Meeres zu Schiff zu gewinnen, noch besser durch den Terminus der Zugangsbreite zu erreichen [5], und Krümmel ist ihm selbst hierin nachgefolgt [6], indem er für verschiedene Meere diese kürzesten Distanzen der das Eingangsthor bildenden Landmassen berechnete. Später wird sich zeigen, dass, um abschliessende Zahlen zu bekommen, auch der dritten Dimension Rechnung getragen werden muss.

Eine Küste wird dem Handelsverkehr sich in dem Maasse leichter erschliessen, als das Meer an verschiedenen Stellen tief in dieselbe eingreift, und es ist für anthropogeographische Zwecke deshalb recht wünschenswerth, ein Maass für diese Aufgeschlossenheit zu besitzen. Strabon bildete (s. I. Band, S. 7) in feinem Gefühle ein eigenes Beiwort für diese Eigenschaft einer bestimmten Erdgegend (πολυσχήμων, vielgestaltig). Die „vergleichende" Schule Carl Ritter's legte Gewicht auf den Vorschlag ihres Meisters, den Flächeninhalt eines von Wasser umgebenen Landes durch die Küstenlänge zu dividiren und diesen Quotienten als das Maass der Küstengliederung oder Küstenentwickelung zu definiren. Diese Begriffsbestimmung ist jedoch ganz unlogisch, weil der Quotient eine lineare Grösse ist, während doch einem solch' abstrakten Begriffe als arithmetisches Substrat einzig nur ein Gebilde nullter Dimension, d. h. eine reine Zahl ent-

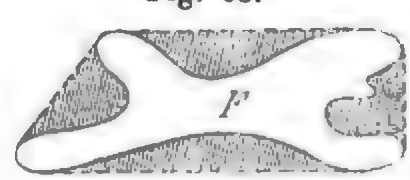
*) Forel hat, zunächst allerdings nur mit Rücksicht auf die Eigenthümlichkeiten des heimathlichen Se[illegible]'s (I. Band), eine Klassifikation der [illegible] und Vorgebirge in Vorschlag gebracht, welche sich auf das Wechselspiel [illegible] Alluvion und Erosion stützt [3]. Inwieweit seine Definitionen der Uebertragung auf oceanische Verhältnisse fähig wären, müssen wir hier ununtersucht la[illegible]

echen kann. Diess erkannt und zugleich auf vernunftgemässe Abülfe gedacht zu haben, war das Verdienst Nagel's, dessen bezüglicher Aufsatz „Ueber die Küstengestaltung der Erdtheile“ jedoch nicht, wie sein Biograph Krimmel anzunehmen scheint [7], ungedruckt blieb. Andere Vorschläge von H. Berghaus, Keber, Schultze, Bothe, Schumann, A. Steinhauser, v. Klöden und v. Prondzynski, wegen deren die Jahrgänge 1863 und 1864 der Petermann'schen Mittheilungen nachzusehen wären, gipfelten schliesslich darin, dass, unter F den Flächeninhalt, unter K die Länge des Küstensaumes, unter μ einen konstanten Zahlenfaktor verstanden, die Küstenentwickelung

$$E = \mu \,.\, F : \sqrt{K}$$

gesetzt und somit wenigstens der gedankliche Fehler der Ritter'schen Bestimmung vermieden wurde. Die von Schumann zuerst gehegte und von Krümmel [8] zahlenmässig ausgeführte Idee, auch der sphärischen Krümmung der Länderräume ihr Recht in der Formel angedeihen zu lassen, bezeichnet allerdings einen gewissen Fortschritt, allein auch bei ihr kommt die so nahe liegende und durch eine Unzahl von geometrischen Beispielen zu belegende Thatsache nicht zur Geltung, dass Figuren von gleichem Inhalt und Umfang dabei doch die allergrösste Verschiedenheit in ihren gestaltlichen Verhältnissen aufweisen können. Deshalb hat der Verf. dieses bei zwei früheren Veranlassungen ein anderes Verfahren zu motiviren versucht [9]. In Fig. 63 sei eine Insel F auf der Karte durch ein System gerader Linien möglichst enge eingeschlossen; zwischen diesen Begrenzungslinien und dem Küstensaume finden sich gewisse — in der Figur schraffirte — Flächenstücke vom Gesammtinhalte f; wenn dann K und μ die obige Bedeutung beibehalten, so kann sehr wohl

Fig. 63.



$$E = \mu \,.\, \frac{f}{F + f}$$

gesetzt werden. Sowie die Insel keinen einzigen einspringenden Winkel besitzt, kann von einer Entwickelung ihrer Küste nicht mehr die Rede sein, und wirklich ist dann auch f = o, also auch E = 0. Es scheint uns diese Festsetzung noch heute die Aufgabe in einfachster Weise zu lösen, obwohl ja gewiss noch andere Entscheidungen denkbar und zulässig sind. Nach Zöppritz z. B. [10] genügt für gewöhnliche Zwecke „die Bestimmung der Grösse des Maximalabstandes des binnenländischen Kernes von der Küste, gemessen auf dem kürzesten Wege“.

Auf einzelne physisch-geographische Fragen des Charakters, welchen physikalischen Motoren eine gewisse Küste die an ihr wahrgenommene eigenartige Gliederung zu danken habe, wird in späteren Abschnitten einzugehen sein. Wir gedenken uns dabei jedoch durchgehends auf dem Boden der wirklichen Thatsachen zu halten und alle Betrachtungen bei Seite zu lassen, welche nach der die feinsinnigen Arbeiten der Peschel'schen Richtung häufig durchkreuzenden Metaphysik der Erdkunde hinzuneigen scheinen*).

*) Wir haben, indem wir dieses sonst wohl kaum gehörte Wort gebrauchen,

§. 3. **Die Meerestiefe als geographisches Element.** Oben schon ward darauf hingedeutet, dass nicht blos die wechselnden Arealverhältnisse eines Meerestheiles für dessen geographische und handelspolitische Bedeutung maassgebend sind, dass vielmehr auch die dritte räumliche Abmessung erheblich mit in's Spiel kommt. Diese dritte Dimension ist eben die Tiefe des Meeres, der in der Richtung des bezüglichen Erdhalbmessers gemessene Abstand eines Oberflächenpunktes vom Meeresboden.

Um zunächst bei unseren vergleichbaren Zahlangaben stehen zu bleiben, so ist klar, dass eine tiefe See namentlich für submarine Cirkulation, aber auch für wirthschaftsgeographische Zwecke günstigere Verhältnisse bietet. Krümmel hat deshalb wohl daran gethan, den Begriff der Zugangstiefe einzuführen. Zöppritz meinte [15]: „Für die Beurtheilung von Zu- und Abströmung in beiden Becken — nord- und südatlantisches Becken — wäre die Einführung des Querschnittes der Zugangsstrassen (= Breite mal mittlerer Zugangstiefe) wohl noch charakteristischer." In der strengen Sprache der Mathematik würden also, wenn $y = f(x)$ die Gleichung der Durchschnittskurve des Wasserthores ist, und wenn a die Breite des Thorweges vorstellt,

---

wesentlich jene geographischen Homologieen im Auge, welchen Peschel das fünfte Kapitel seiner „Probleme" gewidmet hat [11]. Anregungen A. v. Humboldt's folgend, sucht er hier die Gestalt-Analogie der beiden Inseln Celebes und Gilolo auf gemeinsame Endursachen zurückzuführen, mit Bergman diskutirt er die Frage, weshalb wohl die an den West- und Ostküsten der Kontinente vortretenden Halbinseln blos nach Süd und nicht auch nach Nord gerichtet sind, hauptsächlich aber beschäftigt ihn ein Problem, dessen Wesen und Geschichte er mit folgenden Worten kennzeichnet [12]: „Die lehrreichsten Aehnlichkeiten sind in den Umrissen Südamerika's, Afrika's und Australien's wahrzunehmen. Lord Bacon bezeichnete schon die Südspitzen Afrika's und Südamerika's als homologe Bildungen („similitudines physicae in configuratione mundi"); dann erkannte J. R. Forster die Aehnlichkeit Australien's mit den beiden anderen Kontinenten." In Weinberg's historisch anregender Abhandlung [13] über diesen Gegenstand wird erwähnt, dass Forster für jene Homologieen eine ehemalige oceanische Hochfluth und Pallas ebendafür eine nordsüdlich gerichtete Fluthwelle verantwortlich machen wollte; Weinberg sucht darzuthun, dass die Fluthrichtung eine nordwestliche gewesen sei. Peschel scheint von jener ganz in seinem Sinne gearbeiteten Studie keine Kenntniss besessen zu haben. Als ein nicht durchweg erfreulicher Ausfluss Peschel'scher Ideen erscheint ferner Ullrich's Schrift „Die horizontale Gestalt und Beschaffenheit Europa's und Nordamerika's" (Leipzig 1883), die sehr fleissig gearbeitet ist, in der Aufsuchung von Homologieen aber manche Excentricität enthält. Was soll z. B. für die Wissenschaft mit dem gesperrt gedruckten Satze (S. 18) geleistet werden, dass die Hudsons-Bay eine „amerikanische Nordsee" sei? Eine noch drastischere Beleuchtung erhält diese Teleologie der Erdkunde durch Reichenbach's „Gestaltung der Erdoberfläche nach bestimmten Gesetzen" (Berlin 1873), wo Meeresströmungen, Salzgehaltschwankungen, elektrische Processe und geologische Liniensysteme im Sinne E. de Beaumont's zusammenhelfen müssen, um die gegenwärtige Gestalt der Erdtheile zu erklären. Doch leitet hier der ausgebildete Sinn des Autors für Symmetrie und Form auch zu manchem brauchbaren Ergebnisse hin, wie zur Konstruktion eines Meridianes, welcher, Kleinasien tangirend, Land und Wasser nahe in zwei gleiche Hälften theilt. — Möchten wir auch nicht völlig der Skepsis P. Lehmann's [14] beipflichten, nach dessen Ansicht die Geologie Fragen der vorbezeichneten Art gar niemals mit Erfolg werde auf ihre Tagesordnung setzen können, so müssen wir doch um so entschiedener unsere Ueberzeugung dahin aussprechen, dass heutzutage bei solch halb teleologischen Erörterungen die darin liegende Gefahr den etwa daraus entfliessenden Nutzen überwiegt. Mit dem „Ignorabimus" ist es stets eine missliche Sache, aber das „Ignoramus" ist hier voll und ganz am Platze.

der Zugangsquerschnitt und die Zugangstiefe T durch

$$Q = \int_0^a y\,dx, \quad T = \frac{1}{a} \cdot \int_0^a y\,dx$$

auszudrücken sein, Als Beispiel mögen hier die von Krümmel [16] berechneten Maasse des indischen Oceanes ihre Stelle finden:

Strassen	Zugangstiefe in km	Zugangsbreite in km	Zugangsquerschnitt in qkm
Sahulstrasse	0,275	460	126,5
Strasse zw. Rotti u. Sumbawa.	Mittel: 1,158	Mittel: 96	Mittel: 109,8
Lanbok- und Allacstrasse .	0,146	96	14,0
Sundastrasse	0,046	45	2,0
Malakastrasse	0,036	59	2,1
Strasse von Ormus	0,101	52	5,2
Bab-El-Mandeb-Enge . . .	0,220	30	6,6

Ueberdiess erweist sich von einer genauen Kenntniss der Seetiefen die Möglichkeit abhängig, ein klares Bild von den morphographischen Verhältnissen des Meeresbodens zu bekommen und damit auch irrige Vorstellungen von der Art zu beseitigen, wie sie z. B. Buache (I. Band, S. 18) sich gebildet hatte. Es fragt sich also blos: Welche Mittel stehen uns zur Verfügung, um genaue Tiefenbestimmungen in hinreichender Anzahl zu erhalten.

§. 4. **Bathometrische Methoden.** Man pflegt die Kunst-Wissenschaft der Meeressondirung gewöhnlich mit dem Namen der Bathometrie zu benennen; die angewandten Instrumente sind die Bathometer (βάϑος, die Tiefe). Einen kritischen Ueberblick über die Vielzahl dieser Apparate und über die Art ihrer Benützung hat der Verf. früher geliefert [17]. Ausserdem findet man anregende Mittheilungen in einer Abhandlung Wolkenhauer's [18], in den Werken v. Boguslawski's [19] und der österreichischen Hydrographen [20] und ganz besonders in dem Handbuche der preussischen Admiralität [21]. Dem vom Verf. angegebenen und auch von anderer Seite gebilligten Eintheilungsmodus zufolge kann man die vorhandenen bathometrischen Methoden in vier verschiedene Gruppen zerlegen. Die erste Gruppe enthält die direkten Verfahrungsweisen, in die zweite nehmen wir auf jene Manipulirungen, bei denen es sich um eine Auslösung handelt, die dritte Klasse umfasst die Registrirungsvorrichtungen, und die vierte hat es mit indirekten Bestimmungen mannigfacher Art zu thun. Dass auch eine und dieselbe Methode gleichzeitig zwei Gruppen zugerechnet werden kann, ist nicht zu leugnen, vermag aber unser Klassifikationsprincip doch nicht zu durchbrechen.

a) **Direkte Sondirung.** Das einfachste und naturgemässeste Mittel besteht gewiss darin, einen schweren Körper, das Loth oder Senkblei, an einer Leine in das Wasser hinabzulassen, den Moment genau zu beachten, in welchem jener Körper den Boden berührt, und nunmehr die Länge des nass gewordenen Stückes der Leine nach deren Wieder-

aufwickelung zu messen. Für geringere Tiefen ist dieses Verfahren, dessen sich zweifellos auch die Griechen und Römer bedient haben*), zugleich das zweckentsprechendste, zumal wenn man durch Anbringung der F. Pfaff'schen Schutzmaassregeln [23] dafür sorgt, dass die Leine während des Hinablassens oder Hinabwindens nicht von ihrer vertikalen Richtung abgelenkt werde. Eine wichtige Verbesserung datirt von W. Thomson, dessen Patentloth oder Lothmaschine das Seil oder die Leine durch Klaviersaitendraht („Pianoforte wire") ersetzt, welcher auf einer Welle aufgewickelt war und durch eine Räderverbindung unter möglichster Vermeidung der Reibung von dieser abgelöst wird [24]. Der sogenannte Patentblock, der an der grossen Raa befestigt ist, und der Akkumulator, den Jeffreys näher beschrieben hat [25], ermöglichen ein stetiges Herabsinken des Drahtes, welcher sehr dünn ist und doch eine Zugkraft von 700 kg auszuhalten im Stande sein muss**).

b) **Auslösungsvorrichtungen.** Schon frühzeitig dachte man daran, schwere Körper mit leichteren in solche Verbindung zu bringen, dass bei'm Aufstossen der letztere sich von ersterem ablöste und wieder an die Oberfläche des Wassers zurückkehrte; es war also die Leine erspart, und aus der Zeit, welche zwischen dem Verschwinden des Körpers und seinem Wiederauftauchen verstrich, gedachte man einen Rückschluss auf die Tiefe zu machen. Der geniale Nicolaus Cusanus dürfte als der Erste mit einem Vorschlage solcher Art hervorgetreten sein; in seinem „De staticis experimentis fragmentum", welches der Basler Vitruv-Ausgabe von 1543 beigegeben ist, legt er dem mit einem Philosophen sich unterhaltenden Mechaniker die nachstehende Rede in den Mund: „Cum plumbo fieret formato ad instar lunae octo dierum; ita tamen quod cornu unum sit ponderosius et aliud levius, et in leviori pomum aut aliud leve tali instrumento appendatur, quod plumbo in fundum pomum trahente et primum cum ponderosiore parte terram tangente et se sic successive inclinante pomum de cornu liberatum sursum revertatur ..." Blancanus erzählt, dass ein gewisser Alberti in seinem Buche „De architectura" einen recht geistreichen Gedanken ausgesprochen habe [27]. Sein Instrument ist in Fig. 64 dargestellt; a ist die schwere Kugel, in deren Haken das gebogene leichte Metallstück b eingehängt wird, so dass c den fertig justirten Lothapparat repräsentirt; wird dann zunächst in einem Gewässer von bekannter Tiefe p_1 die Zeit t_1 an einer Wasseruhr gemessen, welche der Bestandtheil b zum Wiedererscheinen braucht, wird weiter

*) Das Wenige, was die Alten über gemessene Meerestiefen aussagen, hat Humboldt gesammelt [22]. Plutarch und Koreudes hegen die vernünftigsten Ansichten.

**) Thomson's Idee ist, wie der Historiker freilich erwarten musste, auch keine „Proles sine matre creata"; im „Nautical Magazine" von 1849 findet sich (S. 124) ein vom Kapitän Barnett an den „Hydrographer" der Admiralität erstatteter Bericht, aus welchem erhellt, dass Mooney, Schiffslieutenant auf dem „Thunderer", die Lothleine aufgegeben und dafür Eisendraht genommen habe. Neuerdings windet White [26] den Draht auf eine Trommel von verzinktem Eisenblech auf und bringt an deren Axe ein Zählwerk an, welches die Anzahl der Trommel-Umdrehungen zu registriren gestattet. Eine Bremsvorrichtung bringt die Trommel in dem Augenblicke zum Stillstande, in welchem der Schwerkörper den Grund berührt.

ebenso t für ein Gewässer von unbekannter Tiefe p bestimmt, so hätte man

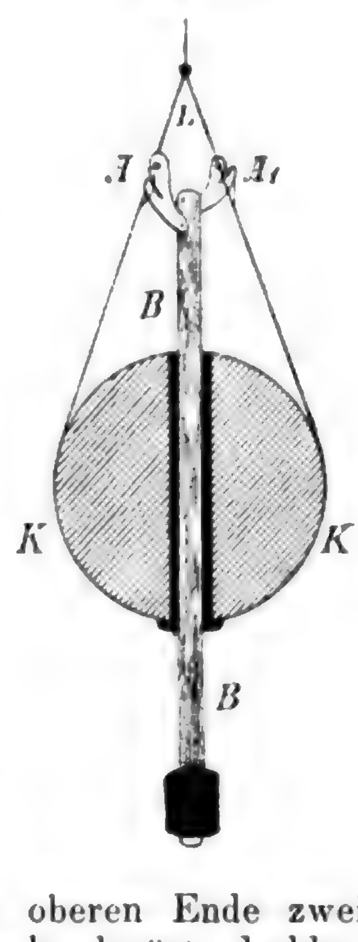
$$t_1 : t = p_1 : p, \quad p = \frac{t\,p_1}{t_1}.$$

Fig. 64.



Ein deutscher Geometer des XVI. Jahrhunderts, Pühler, bespricht in ganz dem gleichen Sinne seine am Traunsee im Salzkammergut unternommenen Sondirungen im 44. Kapitel seines Lehrbuches, betitelt [28]: „Wie die tieffe eines Weihers, Graben, See unn anderer stilstehender Wasser, solen künstlich abgemessen und ergründt werden.“ Selbstverständlich ist die stillschweigend zu Grunde gelegte Voraussetzung, dass die Bewegung des ab- und aufsteigenden Körpers eine gleichförmige sei, nur sehr obenhin zutreffend. — Wir müssen darauf verzichten, alle auf dieses Princip begründeten Mechanismen eingehend zu besprechen; nur wenige Andeutungen mögen genügen. Der „Explorator abyssi“ des genialen Erfinders Hooke, den wir in der von Derham herausgegebenen Sammlung [29] beschrieben finden, hatte eine ähnliche Auslösung, doch war er noch weiter mit zwei hodometrischen Räderwerken ausgerüstet, deren eines bei'm Sinken des Instrumentes, das andere — umgekehrt gestellte — bei'm Steigen des leichteren Theiles umgetrieben werden sollte. Bacialli und Molinelli empfahlen eine eigenthümliche Zange behufs leichter und bequemer Trennung beider Bestandtheile [30]. Ganz besonders aber machte die Tiefensonde des Holländers Stipriaan Luiscius von sich reden, deren Schilderung [31] Gilbert [32] eine sehr interessante Notiz beigab; freilich beruhten die an dem Hooke'schen Explorator angebrachten und an sich recht zahlreichen Abänderungen mehr nur auf einer gewissen Kleinmeisterei. Ein Gleiches gilt, nach Emsmann [33], doch auch für Aimé's Bathometer, wogegen Konicky's „Seekukuk“ [34] eine wirklich praktische Neuerung ist, indem bei ihm durch ein Explosionssignal der Moment des Wiederauftauchens sehr genau markirt wird. Endlich verstand es der amerikanische Midshipman Brooke, durch eine geistreiche Kombination der für die erste und zweite Gruppe maassgebenden Grundsätze ein für den Gebrauch des praktischen Seefahrers ausserordentlich brauchbares Werkzeug herzustellen, von welchem Fig. 65 ein Bild giebt.

Fig. 65.



„Ein cylindrischer Eisenstab B trägt an seinem oberen Ende zwei scheerenförmige Arme A und A_1, welche nur nach abwärts drehbar sind. Eine durchbohrte Kanonenkugel K, von einer kurzen Leine L umfasst, bleibt auf diesen Armen hängen, solange der ganze Apparat

mittelst der Lothleine L schwebend erhalten wird. Trifft der Apparat aber den Grund, so zieht die Kugel die zwei Arme rasch abwärts, die Schlingen der Leine L, welche die Kugel hält, gleiten ab, und die Kugel fällt zu Boden" [35], die allenfalls noch am unteren Stabende angebrachte Hülse abstreifend. Ueber gewisse Vervollkommnungen dieser einfachen Idee, wie das Bulldog-Loth und den Hydra-Sinker, belehren die Schriften Belknap's [36] und Sigsbee's [37] *). — Wir bemerken noch, dass auf offener See jede Lothung, wenn sie Werth haben soll, von einer scharfen Längen- und Breitenbestimmung gefolgt sein muss. Bei Küstensondirungen, und namentlich bei Tiefenbestimmungen in Binnengewässern, verbindet man den Punkt der Aufnahme durch Winkelmessungen im Sinne des Pothenot'schen Problemes (I. Band, S. 284) mit drei ihrer Lage nach bekannten Punkten des Festlandes. Strenge Berechnung ist kaum vonnöthen, vielmehr verzeichnet man nach Horner-Denzler die beiden gemessenen Winkel am besten auf Strohpapier und verschiebt dieses so lange, bis die drei Schenkel durch je einen der Eckpunkte des schon vorher verzeichneten Dreieckes der drei Festlandspunkte hindurchgehen. Schon der verjüngte Maassstab liefert alsdann eine ganz erträgliche Ortsbestimmung.

c) **Registrirapparate.** Nach Gilbert's Aussage (a. a. O.) soll der Gedanke, die Tiefe eines Gewässers manometrisch durch Luftkompression zu messen, bis auf Hales und Desaguliers zurückreichen. In geschickter Weise verband Morse ein solches Tiefenmanometer mit einer der soeben gekennzeichneten Auslösungen [39]. Schreiber übertrug auf unseren Fall das Konstruktionsprincip der Aneroidbarometer, setzte gewellte Lamellen dem wechselnden Wasserdrucke aus und traf zugleich die Veranstaltung, den Stand des Zeigers photographisch zu fixiren [40]. Das Loth von Hopfgartner und Arzberger verwendet als richtiges Wasserdruck-Aneroid luftleere Dosen**) [41]. Stahlberger's Rheobarometer [43] dient zugleich dazu, die Richtung und Geschwindigkeit etwaiger Meeresströmungen zugleich mit der Tiefe zu bestimmen. Den Preis in unserer dritten Gruppe errang jedoch William Thomson (s. o.); derselbe verband mit seinem Patentloth eine Glasröhre, deren Innenwand eine Belegung von chromsaurem Silber hat. Je tiefer das Loth sinkt, um so höher steigt das Seewasser in der Röhre, zersetzt die Belegung und verwandelt deren röthlich gelbe Färbung in Weiss. Berechnung oder empirische Graduirung ertheilt alsdann Aufschluss über die erreichte Tiefe.

d) **Indirekte Schätzungsmethoden.** Schon Hooke äusserte einmal (s. o.), sein Seetiefenmesser solle zugleich als „Explorator gravitationis" Verwendung finden. Was er nur ahnte, ward durch William Siemens verwirklicht, der seit 1859 an der Lösung der Aufgabe arbeitete, durch Schweremessungen die Tiefe des Meeres an jeder beliebigen Stelle zu ermitteln. Angesichts der grossen Wichtigkeit, welche dem

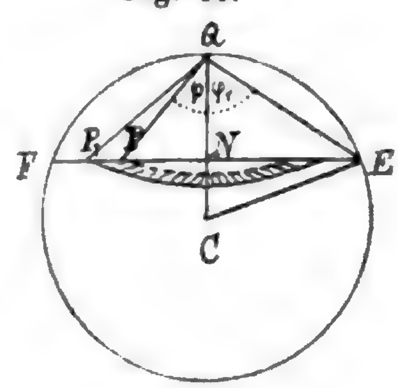
---

*) Emsmann war der Meinung [38], dass man die Kugel des Brooke'schen Apparates nicht verloren zu geben brauche, sondern dieselbe zu retten vermöge, was natürlich erheblich geringere Kosten verursachen würde. Es scheint aber nicht, dass seine durchaus nicht einfachen Abänderungspläne Anklang gefunden hätten.

**) Die Formeln, welche zur Berechnung der Tiefe aus dem Drucke dienen, dürften in voller Allgemeinheit zuerst von Rühlmann [42] entwickelt worden sein.

Siemens'schen Bathometer auch im Hinblick auf anderweite geophysikalische Fragen innewohnt, verweilen wir bei der an einen authentischen Bericht [44] sich anlehnenden Charakteristik des Instrumentes etwas länger. In einem stählernen Rohre, welches an beiden Enden je eine schalenförmige Erweiterung besitzt, befindet sich eine Quecksilbersäule. Die untere Schale ist durch ein dünnes Wellblech von Stahl verschlossen, welches in seiner Mitte auf einem in einem horizontalen Kreuze sitzenden Zapfen aufruht und mittelst desselben von zwei stählernen Spiralfedern, welche mit der Quecksilbersäule an Länge übereinstimmen, getragen wird. Durch diese Anordnung ist das Instrument den Temperatureinflüssen so gut wie ganz entzogen. Es wird nun an einem Universalgelenke so aufgehängt, dass es vertikal verbleibt und seinem Quecksilbercylinder blos in vertikaler Richtung Schwankungen verstattet. Die Ganghöhe der Schraube und die Distanzen der am Rande angebrachten Theilstriche sind so gewählt, dass je ein Skalentheil einer Aenderung der Schwere entspricht, welche auf einen Faden Tiefe entfällt. Da Seewasser wesentlich geringere spezifische Schwere besitzt, als Erde, so darf vorausgesetzt werden, dass auf dem Ocean die Anziehung sich minder energisch kundgiebt, als auf dem Festlande; in welchem Maasse, das wird die nachfolgende Ueberlegung lehren. C (Fig. 66) ist der Mittelpunkt der Erdkugel vom Radius R, FE ist ein Kugelkreis vom Mittelpunkt N, so dass in der Figur $CN \perp FE$ die Kugel in einem von E und F gleichweit abstehenden Punkte Q trifft. Um N als Mittelpunkt seien zwei Kreise mit den Halbmessern $NP = x$ und $NP_1 = x + dx$ beschrieben; wie stark ist dann die Anziehung, welche ein ringförmiger Streifen von der Breite dx und von der Höhe dh, unter h die Strecke NQ verstanden, auf Q ausübt? Unter Voraussetzung homogener Massenvertheilung von der Dichte 1 ist das Massenelement dM des Streifens $= 2\pi x\, dx\, dh$, und da, wenn $\sphericalangle NQP$ mit φ bezeichnet wird, $x = h \operatorname{tg} \varphi$ ist, so ist auch

Fig. 66.



$$dM = \frac{2\pi h^2 \operatorname{tg}\varphi\, d\varphi\, dh}{\cos^2\varphi}.$$

Die Entfernung des Streifens von Q ist $= PQ = e = h \sec \varphi$, somit ist die in die Vertikalrichtung fallende Attraktionskomponente

$$dA_1 = \frac{dM \,.\, \cos\varphi}{e^2} = 2\pi \sin\varphi\, d\varphi\, dh.$$

Integrirt man, mit φ_1 den Winkel $FQN = EQN$ ausdrückend, von 0 bis φ_1, so wird die vertikale Attraktionskomponente der fraglichen Schicht, da $\overline{EQ}^2 = {}_2R \,.\, NQ$ ist,

$$\int_0^{\varphi_1} dA_1 = \int_0^{\varphi_1} 2\pi \sin\varphi\, d\varphi\, dh = -2\pi\, dh \Big|_0^{\varphi_1} \cos\varphi = 2\pi\, dh \left(1 - \sqrt{\frac{h}{2R}}\right).$$

Die auf QC normal wirkenden Elementaranziehungen heben sich jeweils auf, die Gesammtanziehung der Kalotte mit Rücksicht auf Q ist also

$$A = \int_0^h A_1 \, dh = 2\pi \int_0^h dh \left(1 - \sqrt{\frac{h}{2R}}\right) = 2\pi h \left(1 - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h}{2R}}\right).$$

Da 2R sehr gross ist, so kann ohne besonderen Fehler $A = 2\pi h$ gesetzt werden. Die Gesammtanziehung der Erdkugel auf Q sei A′, dann ist $A' = \frac{4}{3} R^3 \pi : R^2 = \frac{4}{3} R \pi$, weshalb die Proportion

$$\frac{A}{A'} = \frac{2\pi h}{\frac{4}{3}\pi R} = \frac{3h}{2R}$$

angesetzt werden kann. „Wäre demnach,“ so wird (a. a. O.) weiter gefolgert, „das Seewasser gewichtlos, so würde sich die Gesammtanziehung der Erde, gemessen an der Meeresoberfläche, in dem Verhältnisse der Tiefe $h : \frac{2}{3} R$ vermindern; wenn man dagegen das Gewicht des Seewassers in Rechnung zieht, so findet man eine Verminderung der Schwere am Meeresniveau nach dem Verhältnisse der Tiefe $h : \frac{614}{579} R$, nahezu $= h : R$.“ Natürlich ist dieses Ergebniss, da ja die Erde keineswegs ein homogener Körper ist, nur ein angenähertes, und die Graduirung des Tiefenlothes wird mit grösserer Schärfe, als es nach dieser theoretischen Bestimmung geschehen könnte, durch Vergleichung mit wirklichen Lothmessungen erfolgen. Hat man dann eine gute empirische Gradeintheilung, so liefert das Siemens'sche Werkzeug ganz gute Resultate und kann, wie auf dem Dampfer „Faraday“ konstatirt ward, recht wohl bei den Vorarbeiten für eine Kabellegung Verwendung finden. Siemens hat übrigens auch gezeigt, wie man den seinem Instrumente unterlegten Gedanken zugleich für horizontale Attraktionen verwerthen kann. Bemerkt sei noch, dass die Oscillationen des flüssigen Metalles dadurch leicht sichtbar gemacht werden können, dass man auf jenes noch durch Aufgiessen eine Schicht gefärbten Oeles bringt, welches in einer feinen Spiralröhre von Glas, deren Axe horizontal liegt, hin- und hergeht. — Die Durchschnittstiefe eines grösseren Meeresbeckens kann auch, wenn gewisse Beobachtungen vorliegen, aus einem hydrodynamischen Lehrsatze erschlossen werden, dessen Kenntnissnahme wir jedoch besser einem späteren Paragraphen vorbehalten, in welchem die Berechnung mittlerer Seetiefen ihre Stelle findet.

§. 5. **Uebersicht über die gemessenen Meerestiefen** *). In früherer Zeit, als man noch einzig auf das gewöhnliche Senkblei angewiesen war, überschätzte man nur allzuhäufig die damit gefundenen Tiefen,

*) Das in diesem Paragraphen verarbeitete Material ist in der Hauptsache aus drei Werken entlehnt, aus den beiden uns bereits sehr bekannt gewordenen Handbüchern v. Boguslawski's [45] und der österreichischen Marine [46] und aus der interessanten Monographie des Engländers J. J. Wild [47]. Ausserdem hat auch eine ältere Arbeit [48] des unermüdlichen v. Boguslawski Verwendung gefunden und auch darauf ist zu verweisen, dass eben derselbe im siebenten und neunten Bande des Wagner'schen Jahrbuches einlässlich Bericht über die Fortschritte unseres Wissens von der Meerestiefe abgestattet hat.

indem man eben den Moment des Aufstossens auf dem Grunde nicht scharf zu fixiren in der Lage war. Wenn, wie v. Boguslawski anführt [49], Denham und Parker zu verschiedenen Zeiten zwischen Tristan d'Acunha und Südamerika Tiefen von resp. 14100 m und 15180 m *) gelothet zu haben glaubten, so sind diese Angaben durch die in der Nähe jener Plätze vorgenommenen Sondirungen des „Challenger" **) als durchaus unzutreffend nachgewiesen worden. Die grösste zur Zeit bekannte Meerestiefe befindet sich, wie die „Tuscarora" feststellte, unter 44° 55′ Norderbreite und 151° 26′ östlicher Länge von Greenwich; dieselbe beträgt 8513 m, also dreihundert Meter weniger, als die höchste Erhebung der Erdoberfläche (1. Band, S. 135). Tiefen über 8000 m maass der „Challenger" mehrfach im nördlichen Pacifik zwischen den Inselgruppen der Marianen und Karolinen [51]. Auch für den atlantischen Ocean ergab sich die für den ersten Anblick etwas auffällige Thatsache, dass die Maximaltiefen in der Nähe von Inseln oder Kontinentalmassen zu finden sind. Die grösste atlantische Tiefe (nördlich von St. Thomas) beläuft sich auf 7068 m, im östlichen und südlichen Theile ist der Atlantik durchweg minder tief. Die grössten Tiefen des indischen Oceans mit 5500 m trifft man an der Nordwestküste Australien's, wogegen im nördlichen Polarmeere die Eismeertiefe von 4850 m allenthalben so ziemlich gleichweit vom Festlande entfernt ist. Das antarktische Meer scheint seicht zu sein und nur ausnahmsweise Tiefen von mehr denn 1000 m aufzuweisen,

---

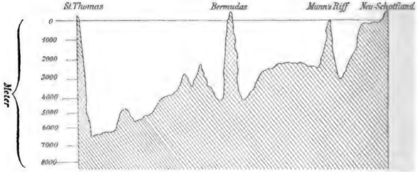
*) Nautische Forscher von Ruf, wie z. B. Breusing, vertreten die Ansicht, dass für oceanographische Zwecke die Maasseinheiten der Seemeile (= 1852 m) und des Fadens („fathom" = 1,829 m) nach wie vor beibehalten zu werden verdienten. Wir haben uns indessen den strengeren Anforderungen H. Wagner's fügen zu sollen geglaubt.

**) Es ist hier wohl der Ort, die schon dem ersten Bande (S. 23) einverleibte geschichtliche Notiz über oceanographische Forschungsfahrten etwas weiter auszuführen, wobei v. Boguslawski's übersichtliche Zusammenstellung [50] unseren Leitstern abgeben möge. Der grossen wissenschaftlichen Weltumsegelungen zählt derselbe für den Zeitraum von 1772 (Cook mit der „Resolution") bis 1878 (v. Wickede mit der „Elisabeth") nicht weniger denn 22 auf. Tiefseemessungen im Atlantik betrieben von Engländern besonders James Ross („Discovery"), Belcher („Samarang"), Dayman („Rattlesnake"), Mac Clintock („Bulldog"), Hoskyn („Porcupine"), Frank Thomson und Nares mit ihren wissenschaftlichen Stäben („Challenger"), von Franzosen Dumont d'Urville („Astrolabe") und Parfait („Travailleur" und „Talisman"), von Amerikanern Lee und Berryman („Dolphin"), J. M. Green („Gettysburg"), Schley („Essex"), Evans („Saratoga"), von Russen v. Kotzebue („Rurik"), von Oesterreichern v. Wüllerstorf („Novara"), von Deutschen v. Schleinitz („Gazelle"), Mac Lean („Prinz Adalbert"), Pirner („Moltke") und Krokisius („Marie"). Für Ost- und Nordsee ist im Anfange der siebziger Jahre namentlich die „Kommission zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Meere" in Kiel (G. Karsten, H. A. Meyer, Möbius, Hensen, Jacobsen u. A.) thätig gewesen, welcher man den Dampfer „Pommerania" zur Verfügung gestellt hatte; eine ähnliche Instanz für die physikalische Untersuchung des adriatisch-jonischen Gebietes hat Oesterreich in Pola gegründet, wo Luksch und J. Wolf wirken. Die Untersuchung des stillen Meeres ist wohl am meisten durch Belknap's „Tuscarora", durch „Challenger" und „Gazelle" gefördert worden; unter den durch polare Entdeckungsreisen ausgezeichneten Schiffen ragen hervor „Vöringen" (mit Mohn an Bord), „Isbjörn", „Vega", „Eira", „Investigator" und „Jeanette". Bei dem traurigen Untergange der letzteren sind auch die gemachten Beobachtungen abhanden gekommen.

doch ist man unter $62\frac{1}{2}°$ Süderbreite und 96° östlicher Länge auch einmal erst bei 3610 m auf den Grund gekommen.

Es wäre weder wissenschaftlich, noch didaktisch gerechtfertigt, in grossen Tabellen die einer bestimmten Partie des Meeres zukommenden Tiefen nebeneinanderzustellen. Einen Ueberblick über die thatsächlichen Verhältnisse — und nur darauf kann es ankommen — vermittelt man am besten, wie schon in dem von der Graphik handelnden Kapitel des ersten Bandes (S. 271 ff.) angedeutet wurde, durch ein Tableau, sei es dass dasselbe Querschnitte (Tiefenprofile) darstellt, welche an verchiedenen Stellen senkrecht zur Meeresoberfläche durchgelegt sind, sei es dass auf der Karte die Punkte gleicher Meerestiefe durch Kurven (Isobathen) verbunden wurden. Das erstgenannte Hülfsmittel bringen mit Vorliebe Wild und v. Boguslawski zur Anwendung, während Petermann, Krümmel, Supan und E. Mayer im österreichischen Manuale den gleichabständigen Kurven den Vorzug geben. Eine Isobathenkarte vermögen wir unserem Werke nicht beizugeben, weil der uns zu Gebote stehende geringe Raum es doch zu keiner Uebersichtlichkeit kommen liesse; Fig. 67 dagegen repräsentirt einen im Meridian der Ber-

Fig. 67.



mudas durch den Atlantik gelegten idealen Profildurchschnitt. Wir brauchen wohl nicht erst zu betonen, dass bei einem solchen Horizontal- und Vertikaldimensionen nicht nach dem nämlichen Maassstabe gemessen werden können*).

Wenn ein gutes Bild von dem, was man Plastik oder Modellirung des Meeresbodens nennen könnte, entworfen werden soll,

*) Ein näheres Eingehen auf die submarine Telegraphie müssen wir hier ablehnen, obwohl wir wissen, dass z. B. Kayser in seinem mehrfach citirten Werkchen recht ausführlich davon gehandelt hat [52]. Unter dem geophysikalischen Gesichtspunkte wird aber nichts anderes über den Gegenstand zu sagen sein, als dass Meerwasser ebenso ein guter, wie atmosphärische Luft ein schlechter Leiter der Elektricität ist, und dass deshalb die auf den Meeresboden gelegten Drähte einer guten Isolirung bedürfen. Alles Weitere gehört in die Elektrotechnik, wie aus Schellen's empfehlenswerther Monographie [53] hervorgeht. Indirekt hat, wie schon einer der angeführten Ortsnamen beweist, die Kabellegung dadurch der Meereskunde Nutzen gebracht, dass zu den sie vorbereitenden Arbeiten zu allererst genaue Sondirungen nöthig werden.

so muss man sich der neuerdings in der Meereskunde sich mehr und mehr einbürgernden Nomenklatur bedienen. Dass man einen sozusagen selbstständigen Meerestheil als Becken bezeichnet, haben wir bereits gesehen. Die grössere oder geringere Durchschnittstiefe eines solchen hängt von der mehr oder minder energischen Depression des Meeresgrundes ab. Becken werden von einander durch submarine Erhebungen getrennt, welche als schmale Rücken oder als ausgedehnte Plateau's und Bänke erscheinen können; schmale Depressionen zwischen benachbarten Rücken heissen Rinnen oder Furchen; dass man nach Krümmel's Vorschlägen auch noch die Bezeichnungen Kanal und Thal zu Hülfe nehmen solle, möchten wir nicht glauben, da in diesem Falle die Gefahr des Schematisirens (s. o. §. 2 des ersten Kapitels) allzunahe läge. Flache Depressionen von annähernd kreisförmigem oder oblongem Umfange kann man Mulden, tiefere, von sonst gleicher morphographischer Beschaffenheit kann man Kessel nennen. Das Wort Tiefe blos den aussergewöhnlich jähen und kräftigen Abstürzen des Meeresbodens vorzubehalten, wie Krümmel (a. a. O.) meint, würde sich wohl empfehlen. Durch Petermann's bathometrische Karte des Pacifik, die er im Jahre 1877 seinen „Mittheilungen" beigab, kam der Gebrauch auf, die einzelnen Lokalitäten mit den Namen derjenigen Forscher oder Explorationsschiffe zu belegen, welche es mit der Auskundung jener besonders gründlich genommen haben, und Krümmel will dann wieder die einzelnen Theile fraglicher Lokalitäten noch durch eine besondere topographische Namengebung auszeichnen, so dass die oben erwähnte Maximaltiefe festzulegen wäre, wie folgt: „Washingtontiefe im Tuscarorabecken des nordwestlichen Theiles der Südsee." „Von anderer Seite ist die Bezeichnung der tiefsten Gebiete der Oceane nach den betreffenden Oertlichkeiten, ihrer Tiefe, Ausdehnung und Gestalt gewählt und angewendet worden, wie z. B. in dem ‚Atlas des atlantischen Oceanes', herausgegeben von der deutschen Seewarte" [54]. Nachdem diess Alles vorausgeschickt ist, dürfte die folgende Charakteristik der einzelnen Meeresräume an sich völlig verständlich sein.

a) **Atlantischer Ocean.** Die Vorstellung Maury's [55], dass dieses Meer wie ein tiefer „Trog" vom einen Pole zum anderen sich erstrecke, hat sich als durchaus unhaltbar erwiesen (s. auch I. Band, S. 46). Denn gerade durch die Mitte des Oceanes zieht sich eine Kette zusammenhängender Plateau's, an welche sich nördlich das breite „Telegraphenplateau" anschliesst, durch welches die Verbindung der alten mit der neuen Welt hergestellt wird [56], während noch weiter nördlich ein nahe an die Wasserfläche heranreichender Rücken von Skandinavien sich nach Island hinüberzieht. Weiter nach Süden wird jener Rücken immer schmäler, bildet bei den Azoren das sogenannte „Dolphin rise" und lässt sich, in abwechselnder Breite und zwischen den Tiefen von 1830 und 3600 m schwankend, bis in die Umgebung der Insel Gough unter 40° lat. austr. nachweisen [57]. Ob derselbe auch mit dem antarktischen Plateau zusammenhängt, das muss die geographische Wissenschaft zur Zeit noch unentschieden lassen. Wir können im Besonderen von einer westindischen Tiefe (zwischen den Antillen und Bermuden), von einem nordatlantischen Kessel, von einer westlichen und östlichen Azoren-Rinne und von einem äquatorialen

Rücken sprechen [58]. Tizard's Lothungen auf dem „Knight Errant" haben uns ferner von der Existenz eines an der schottischen Küste beginnenden, unterseeischen Höhenzuges überzeugt, der sich bis zu den Fär-Öer erstreckt und eine Minimaltiefe von 550 m aufweist. Die am Ostrande der Bank von New-Foundland gelegene flämische Kappe zeichnet sich, wie wir aus einer an die Kabelsondirungen des „Faraday" anknüpfenden Studie Krümmel's [59] ersehen, durch ihren Steilabfall aus.

b) **Südsee.** Wenn man den Meridian von 150° westlicher Länge als das den Pacifik durchsetzende Diaphragma betrachtet, so weisen die beiden Hälften in bathometrischer Hinsicht ein sehr verschiedenes Verhalten auf. Die amerikanische Seite des oceanischen Beckens, vergleichsweise sehr arm an Inseln, hat eine ziemlich einförmige Gestaltung, die Tiefen nehmen von der Küste aus langsam und stetig zu, bis sie nordöstlich der Sandwich-Gruppe auf 5000 m anwachsen. Weit abwechselungsreicher verhält sich das asiatische Becken, in welchem nicht weniger als sieben unterseeische Bodenerhebungen durch Thäler unterbrochen sind. Für den südlichen Theil des Pacifik machten die Messungen des „Challenger" das Vorhandensein eines ausgedehnten Plateau's wahrscheinlich, welches von den Marquesas- und Gesellschafts-Inseln bis zu der chilenischen Küste bei Juan Fernandez hinüberreicht [60]. Dass die Tiefenverhältnisse gerade dieses Erdtheiles es herbeiführen, gewisse Becken, wie das Korallenmeer, die Bandasee und das chinesische Meer völlig von den angrenzenden Meeren zu isoliren, das wird im nächsten Kapitel die Betrachtung der Wärmevertheilung lehren. — Von besonders ausgezeichnetem Charakter sind noch die als Hilgard-Tiefe und Miller-Tiefe bekannten Abfälle in der Umgebung der Phönix-Inseln (bis zu 6000 m), des Ferneren die Thomson-Tiefe zwischen Neuseeland und Australien, die Gazellen-Tiefe zwischen Neuseeland und Neukaledonien, die Carpenter-Tiefe zwischen Neuguinea, den Salomons-Inseln, den neuen Hebriden und Neukaledonien, die Patterson-Tiefe im Nordwesten von Australien und die Nares-Tiefe zwischen den Palau-Inseln und den Karolinen. Von der Tiefe im Tuscarora-Becken war schon oben die Rede [61].

c) **Indischer Ocean.** Unsere leider noch recht unvollkommenen Kenntnisse berechtigen uns nur zu der Aussage, dass dieser Ocean ein wenig differentiirtes Tiefenbecken darzustellen scheint, das aber — im Gegensatze zu anderen Meeren — allenthalben von steil abfallendem Lande begrenzt wird. Die grössten zur Zeit bekannten Tiefen sind 5505 und 5523 m; die Jeffreys-Tiefe westlich vom Kap Leeuwin beträgt 5276 m. Der bengalische Busen bildet zwischen Ceylon und der Halbinsel von Malakka ein einfaches Tiefenthal mit Depressionen von 3900 bis 4300 m, sehr eben ist auch der Boden des arabischen Meeres, im persischen Golfe ist man noch nicht tiefer hinabgekommen, als bis zu 90 m, wogegen der Grund des rothen Meeres stark gewellt ist und in seiner Axe Tiefen von 1900 m erkennen lässt [62]. Eine neue und sehr gründlich ausgearbeitete Karte mit Begleitworten verdankt man Krümmel [63], der u. a. auch daran erinnert, dass die gleichmässige, aber kräftige Depression zwischen Madagaskar und Indien keineswegs zur Unterstützung der früher vielfach laut gewor-

denen Ansicht dient, es habe in der geologischen Vorzeit in jener Gegend eine Landbrücke gegeben*).

d) **Polarmeere.** Jene Eismeertiefe des europäischen Nordmeeres, deren wir oben gedachten, und der ein Durchschnittswerth von 2750 m zugeschrieben ward, ist nach Mohn [65] nur bedingt vorhanden; eigentlich müssen zwei getrennte Tiefenbecken unterschieden werden, das eine südlich von den Lofodden, im Maximum 3670 m tief, und ein zweites, mit ungefährer Montblanc-Tiefe, westlich und südlich von Spitzbergen. Im karischen Meere nehmen die Tiefen nach Norden hin langsam zu, die tiefste Stelle von 732 m liegt aber östlich der Insel Waigatsch. Ziemlich seicht (kaum über 350 m tief) ist das weisse Meer, ein Gleiches gilt für die Hudsons-Bay, wogegen die Baffins-Bay bis zu 1829 m abfällt. Für die sibirische Küstensee wird Lieutenant Bove, der Begleiter Nordenskiöld's, noch weitere Eröffnungen machen. — Vom antarktischen Meere lässt sich nur angeben, dass eine den Südpol umgebende submarine Erhöhung zu existiren scheint, welche mit ihren Ausläufern in die benachbarten Oceane hineinreicht (s. o.) [66].

e) **Europäische Rand- und Mittelmeere.** Die Nordsee hat meist nur eine unbedeutende Tiefe; eine Erhöhung, die Doggers-Bank**), schiebt sich als schmaler Rücken zwischen den etwas tieferen nordöstlichen und den nirgends 60 m Tiefe überschreitenden südwestlichen Theil ein. Nur die norwegische Rinne, deren Lage durch ihren Namen ausreichend gekennzeichnet ist, ist bedeutend tiefer, an einem Punkte sogar 687 m tief [67]. Als die tiefsten Abtheilungen der Ostsee werden uns von Ackermann [68] der nördlichste Theil des kleinen Beltes und der grosse Belt, als die flachsten das Gewässer um Fünen herum und die Smaaland-See genannt, während eine Bank oder Barre von kaum 20 m Tiefe die Ost- und Westhälfte von einander scheidet. Man findet in ersterer [69] drei grössere und mehrere kleinere Depressionen von über 100 m Tiefe. Das bottnische Meer kann noch lange nicht für genügend durchforscht gelten, doch ist es sehr wahrscheinlich, dass ein gutes Drittel des Gesammtareales durch eine grosse Einsenkung mit mehr als 100 m Tiefe eingenommen wird [70]. Das mittelländische Meer wird durch die zwischen 200 und 950 m an Tiefe variirende Gibraltar-Strasse gegen den offenen Ocean abgeschlossen und weiterhin durch eine zwischen Sicilien und Tunesien in äusserst wechselnder Tiefe sich hinziehende Bank in zwei nur oberflächlich communicirende Becken zerlegt. Im Westbecken hat man bislang die Maximaltiefe unweit der Insel Minorca bei 3070 m erreicht, im Ostbecken steigen die zur Zeit bekannten Maximaltiefen bis auf 3931 und 3969 m an. Die grössten Depressionen im griechischen Archipelagus, in den Dardanellen, im Marmara-Meere und im Bosporus erreichen

*) Auch den australasiatischen Archipel hat Krümmel neuerdings einer besonderen Betrachtung unterzogen [64]. Es zeigt sich einerseits, dass Neuholland nördlich von einem sehr stark ausgeprägten Senkungsfelde umzogen wird, welches zwischen Timor und Sumbawa in der Schleinitz-Tiefe gipfelt, wogegen auf der anderen Seite dem asiatischen Festlande eine doppelte submarine Verlängerung zuzugestehen ist, welche bis Java-Bali und Borneo-Palawan sich ausdehnt.

**) „Dogger" bedeutet ein Fischerboot der Holländer, die in jener Gegend ergiebige Jagdgründe ausbeuten.

beziehungsweise 1225, 104, 1344 und 100 m [71]. Schwarzes und asow'sches Meer sind sehr seicht, letzteres ist höchstens 15 m tief. Die nun schon so häufig beobachtete Scheidegrenze im Inneren eines Beckens findet sich auch im adriatischen Meere vor, wo sie die Halbinseln Sabbioncello und Monte Gargano verbindet; nördlich dieser Linie lässt sich ein allmähliger Abfall in südöstlicher Richtung erkennen, und südlich der nur 150 m tiefen Verbindungs-Rinne tritt wieder eine abrupte Senkung bis zu 1590 m Tiefe ein. Die Bodenschwelle, welche die Adria von dem kesselartig vertieften jonischen Meere trennt, bleibt immerhin noch 800 Meter unter dem Meeresspiegel [72].

§. 6. **Allgemeine Charakteristik der Meeresbodengestaltung.** Die Ergebnisse des vorigen Paragraphen befähigen uns dazu, eine Reihe wildphantastischer Vorstellungen, welche man sich in früheren Zeiten über die Oberflächenform des Meeresgrundes gebildet hatte, zu beseitigen oder doch einschneidend zu berichtigen. Peschel, der bei diesem Reinigungsprocess besonders energisch mit Hand angelegt hatte, bemerkt über ältere Hypothesen [73]: „Alexander v. Humboldt war den gefährlichen Träumereien eines Buache von sogenannten Seegebirgen nicht hold gewesen. Finden wir aber bei ihm nicht mehr die Seegebirge, so behielt er doch eine andere Vorstellung des Franzosen bei, dass nämlich die Gebirge das Gezimmer*) (‚charpente') oder, wie es Athanasius Kircher mit einem anderen Bilde ausgesprochen hatte, das Skelett der Festlande (‚Ossatura globi') vertreten." Kircher's durch Gebirge fixirte Meridiane und Parallelkreise wurden, wie erwähnt, von Buache in der uns aus Band I (S. 18) bekannten Abhandlung wieder hervorgesucht und zur Grundlage eines neuen geographischen Systemes in dem Sinne gemacht, dass Bergketten der Kontinente durch imaginäre, submarine Kettengebirge mit einander in Verbindung gesetzt wurden. Bergman, Kant, Gatterer, Zeune und anfänglich selbst noch Ritter vermochten sich nach Peschel [75], der wohl auch einen L. v. Buch hinzuzurechnen befugt gewesen wäre, für diese irrige Anschauung zu erwärmen. Sehr wenig bekannt scheint zu sein, dass ein deutscher Universitätslehrer, Börsch in Marburg, in seiner manch' Gutes enthaltenden und von uns noch öfter zu erwähnenden Orographie einer korrekten Auffassung mit den nachfolgenden Worten die Bahn gebrochen hat [76]: „Gebirge, welche sich an der Meeresküste endigen, können mit denjenigen, welche in der nämlichen Richtung auf einer Insel oder in einem anderen Welttheile liegen, als zusammenhängend nicht angesehen werden." Natürlich muss auch dieser Ausspruch, so korrekt er an und für sich ist, nur als ein cum grano salis richtiger behandelt werden, da beispielsweise der Gebirgszug der Insel Novaja Semlja, nach Hiekisch [77], als eine direkte Fortsetzung der Uralkette betrachtet werden muss.

Die Tiefseeforschung hat unzweifelhaft erwiesen, dass nur in unmittelbarster Nähe der Kontinente und Inseln der Meeresboden eine Fortsetzung des angrenzenden Festlandes ist, und dass das eigentliche Meeresbecken in sehr verschiedenen Entfernungen von jenem seinen

*) Die deutsche Form des französischen Kunstausdruckes rührt her von Carl Ritter [74].

Anfang nimmt [78]. Als Erfahrungssatz dürfen wir ferner diesen hinstellen [79]: Die Böschungswinkel submariner Erhebungen sind im freien Weltmeere fast immer ausserordentlich gering. Ueber das „Telegraphenplateau" z. B. liesse sich ohne jegliche Kunstbauten eine Eisenbahn hinwegführen, da keine grössere Neigung vorkommt, als arc sin (1 : 412). Nahe den Küsten sind steilere, ja unter Umständen sogar sehr steile Abstürze allerdings keine Seltenheit. — Den Grund für diese Thatsache entdeckt man mit Peschel [80] unschwer in dem Fehlen jeder atmosphärischen Erosion; auch die Meeresströmungen reichen, wie sich in dem ihnen gewidmeten fünften Kapitel zeigen wird, nur in seichter See so tief hinab, dass sie durch Abwetzen sanfte Böschungen in jähe verwandeln können.

§. 7. **Die mittlere Tiefe der Oceane.** Wenn von den geographischen Schriftstellern auch immer jenen literarischen Erscheinungen, die sich über ein sachlich verwandtes Gebiet verbreiten, die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt würde, so würde vermuthlich auch kaum ein so hohes Gewicht gerade darauf gelegt werden, dass Peschel im fünften Kapitel seiner „Probleme" als der Erste mittlere Meerestiefen zu berechnen lehrte [81]. Denn Bestrebungen dieser Art waren den Mathematikern seiner Zeit nichts weniger als fremd. In dem „Isolirten Staat" des bekannten Nationalökonomen v. Thünen war gezeigt worden, wie man die mittlere Entfernung des Acker's vom Hofe ermitteln könne, und Grunert hat über diese Frage eine sehr ausführliche Schrift verfasst [82]. Drobisch [83] und Schlömilch [84] diskutirten verwandte Aufgaben. Wenn wir uns genau an die in ihren Aufsätzen gegebenen Definitionen halten und unter Entfernungsmoment eines Flächenelementes von einer Ebene das Produkt der Grösse dieses Elementes in seine normale Entfernung von der Ebene verstehen, so muss, unter f (x, y) = z die Gleichung der betreffenden Fläche verstanden, die mittlere Distanz M gleich dem Quotienten gesetzt werden, welchen man erhält, wenn man mit der Gesammtoberfläche in die Summe der Entfernungsmomente dividirt. Es ist also algebraisch, wenn man den in jedem Lehrbuche der Infinitesimalrechnung zu findenden Ausdruck für das Flächenelement einführt,

$$M = \frac{\iint f_{(x,y)} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{df_{(x,y)}}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df_{(x,y)}}{dy}\right)^2}\, dx\, dy}{\iint \sqrt{1 + \left(\frac{df_{(x,y)}}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df_{(x,y)}}{dy}\right)^2}\, dx\, dy}.$$

Der Wurzelausdruck mal dx dy ist hier gleich dem Flächenelemente d F. — Der Meeresgrund bildet keine geometrisch regelmässige Fläche; die obige Formel kann also empirisch nur dadurch ausgewerthet werden, dass man das Zeichen d der Differentialrechnung durch das Zeichen Δ der Rechnung mit endlichen Differenzen ersetzt und die obige Relation mit der nachstehenden vertauscht:

$$M = \frac{\sum\limits_{i=1}^{i=n} \Delta F_i \,.\, h_i}{\sum\limits_{i=1}^{i=n} \Delta F_i} = \frac{\Delta F_1 \,.\, h_1 + \Delta F_2 \,.\, h_2 + \ldots + \Delta F_{n-1} \,.\, h_{n-1} + \Delta F_n \,.\, h_n}{F}$$

wo F den Flächenraum des in Rede stehenden Meerestheiles bezeichnet.

Mit besonderem Eifer ist an die Aufgabe, mittlere Meerestiefen nach dieser letzteren (Peschel'schen) Formel zu bestimmen, Krümmel herangetreten [85]. Er theilte das ihm vorliegende Areal in Zehn- und Eingradfelder ab (s. Kap. X der vorigen Abtheilung, §. 4), trug in diese Felder genau die geographischen Koordinaten der Lothungspunkte ein und suchte dann interpolatorisch die dem Gradfelde entsprechende Mittelhöhe h zu erhalten. Gegen die von Supan [86] und v. Boguslawski [87] erhobenen principiellen Einwände hat sich Krümmel lebhaft und geschickt vertheidigt [88], und wir stehen nicht an, ihm einzuräumen, dass etwas besseres — mögen auch die von den Gegnern behaupteten subjektiven Eigenmächtigkeiten ihre Rolle spielen — nicht leicht zu finden sei. Dagegen müssen wir uns wieder auf v. Boguslawski's Seite stellen, wenn derselbe behauptet, dass unser ungenügendes bathometrisches Wissen die Berechnung leidlich genauer Mittelwerthe noch nicht gestattet und auch für eine absehbare Folgezeit noch nicht gestatten wird.

Einstweilen müssen wir uns daher mit rohen Näherungswerthen begnügen. Krümmel findet (a. a. O.) für die offenen Oceane eine Mitteltiefe von 3705 m, für die Mittelmeere von 1349 m, für die Randmeere von 944 m, und so ergiebt sich schliesslich für das gesammte Meer der Erde eine mittlere Tiefe von 3438 m*).

§. 8. **Beziehungen zwischen Meerestiefe und Kontinentalhöhe.** Es liegt nicht ferne, Vergleichungen anzustellen zwischen der mittleren Tiefe des Meeres und der mittleren Höhe der Kontinente**). Dass dieselbe im Ganzen nach denselben Grundsätzen zu bestimmen ist, welche wir oben als für die oceanischen Mitteltiefen maassgebend erkannt haben, ist an sich einleuchtend, doch sind im ersteren Falle

*) Der Bache-Airy'schen Formel, welche aus der Zeit zwischen der Auslösung einer Seebebenwelle und der Ankunft letzterer an einer entfernten Küste die Mitteltiefe des zwischenliegenden Meeres zu berechnen unternimmt, ward im I. Bande (S. 378) Erwähnung gethan. Peschel, v. Hochstetter und Geinitz haben nach dieser Vorschrift ihre Mittelwerthe für die Tiefe des westlich von der peruanischen Küste gelegenen Theiles der Südsee bestimmt, doch kann diesen Schätzungen ein höherer Werth selbstverständlich nicht beigemessen werden [89]; steigen doch, wie Krümmel hervorhebt [90], die Differenzen bis auf 1/5 des wahrscheinlichen Totalwerthes! E. Mayer findet als Mittel der von Airy's Formel abhängenden Bestimmungen der Mitteltiefe des Pacifik 3800 m [91].

**) Auf einen wichtigen und auf die Genauigkeiten beider Arten von Messungen merklichen Einfluss übenden Unterschied zwischen der Bestimmung mittlerer Gebirgserhebungen und mittlerer Meerestiefen hat, soweit unser Wissen reicht, noch kein Schriftsteller aufmerksam gemacht. Beidemale ist der ideale Seespiegel, soweit wir die Annahme eines solchen mit der Lehre vom Geoid vereinbaren können, die Basis, auf welche wir die Höhen und Tiefen beziehen, allein nur im ersteren Falle sind die angegebenen Hohendaten auch zuverlässig die Maasszahlen vertikaler Erhebungen, weil wir die einzelnen gemessenen Spitzen sehen oder betreten können. Mag trigonometrische, barometrische und thermometrische Altimetrie noch so sehr mit Fehlern behaftet sein, der bei Lothungen wohl niemals auszuschliessende Fehler, dass die gemessene Strecke nicht senkrecht auf der Basis steht, kann nicht vorkommen. Dieser Umstand mag, da der Ablenkungswinkel bei entsprechender Sorgfalt ein kleiner bleibt, für die Zuverlässigkeit einzelner Sondirungen belanglos sein, die Mitteltiefen wird er stets entstellen.

gewisse Rücksichten zu beobachten, auf welche erst dann näher eingegangen werden kann, wenn einige dazu erforderliche Vorkenntnisse erworben sind, und da diess erst im ersten Kapitel der neunten Abtheilung geschehen kann, so müssen wir uns gegenwärtig auf die Registrirung von Thatsachen beschränken. Die ersten Versuche in dieser Art stellte Humboldt an, getrieben durch das kritische Bestreben, zu untersuchen, ob Laplace Recht gehabt habe, als er die mittlere Höhe Europa's auf 1000 m veranschlagt hatte [92]. Humboldt selbst fand für Europa, Asien und Amerika jeweils Mittelhöhen von 205,351 und 285 m, Afrika und Australien hielt er sich noch nicht für befähigt nach dieser Seite hin zu prüfen. Australien ist auch heute noch nicht besser daran, und die Humboldt'sche Schätzung Asien's ist zweifellos viel zu niedrig und wird sich wohl in dem Maasse vergrössern müssen, als man in die Geheimnisse der centralasiatischen Gebirgswelt tiefer eindringt. Wir nehmen deshalb mit Leipoldt [93] für die mittlere Höhe von Asien und Australien die freilich sehr runden Ziffern von 500 und 250 m an — unvermögend, Besseres an deren Stelle zu setzen. Für die drei anderen Kontinente dagegen sind wir bessere und zuverlässigere Zahlwerthe anzugeben in der Lage.

a) **Europa.** Aus Leipoldt's sehr verdienstlicher Untersuchung [94] resultiren für die einzelnen Länder unseres Erdtheiles folgende Mittelwerthe*): Russland 167, Iberische Halbinsel 701, Skandinavien 428, Oesterreich 518, Balkanhalbinsel 580, Italien 517, Frankreich 394, Deutsches Reich 214, Grossbritannien 218, Schweiz 1300, Gesammt-Dänemark 352, Rumänien 282, Belgien 136, Niederlande 49 m. Die mittlere Höhe Europa's berechnet sich hienach zu 297 m.

b) **Amerika.** Für diesen Welttheil ist zunächst soviel ausgemacht, dass Humboldt, wie bei Asien, viel zu niedrig gegriffen hat. Blos für das Gebiet der Vereinigten Staaten begnügt sich derselbe mit 228 m, wogegen Toner bis zu 648 m gehen zu sollen glaubt [95]; Gannett glaubt wenigstens — ohne Alaska — bis zu 525 m steigen zu sollen [96]. Auch Ratzel betont [97], dass in Nordamerika die Hügelländer und Mittelgebirge minder stark das Gesammtergebniss beeinflussen, als es in Europa der Fall ist, und dass deshalb für Toner's Resultat jedenfalls ein grösseres Maass von Wahrscheinlichkeit anzunehmen sei, als für das Humboldt'sche. Leipoldt's 410 Meter sind deshalb wohl auch noch zu geringfügig angesetzt.

c) **Afrika.** Was Leipoldt für Europa, hat Chavanne für Afrika geleistet [98], nur ist der Unzulänglichkeit des Materiales halber Chavanne's Zahl mit einem grösseren wahrscheinlichen Fehler behaftet, als diejenige Leipoldt's. Ersterer berechnet die mittlere Erhebung des Atlas zu 763 m, diejenige der grossen Binnenwüste zu 425 m, diejenige der Plateauzone des Sudân zu 423 m, diejenige der ostafrikanischen Hochländer zu 972 m, diejenige des äquatorialen Trennungsgebirges zu 1065 m, diejenige der Galla- und Somali-Länder zu 1030 m, diejenige Abessynien's zu 671 m, diejenige des Congobeckens

*) Von Decimalen absehend, rundeten wir die Zahlen in der üblichen Weise ab. Bruchtheile von Metern erwecken bei solchen Anlässen in uns genau den Eindruck, welchen die Ausrechnung der Winkel auf Tertien und Quarten, die im Mittelalter beliebt war, in den Augen eines modernen Astronomen hervorruft.

zu 462 m, diejenige der arabisch-nubischen Wüste zu 331 m und diejenige der Danakilenküste zu 120 m. Ohne Inseln betrüge sonach die Durchschnittshöhe des afrikanischen Landkomplexes 662 m statt der von Leipoldt angenommenen 500 m.

Hieraus folgt, dass die Krümmel-Leipoldt'sche Zahl von 440 m für die Gesammtmittelhöhe alles irdischen Festlandes ebenfalls einer nicht unerheblichen Erhöhung bedarf, um mit der Wahrheit nur in jenen überaus bescheidenen Einklang gebracht zu werden, zu welchem es der Natur der Sache nach überhaupt kommen kann. Carpenter's Zahl (1000 englische Fuss) ist ganz gewiss viel zu klein. Genaue Zahlen für die nichteuropäischen Erdtheile werden wohl noch für Jahrzehnte und Jahrhunderte in's Reich der unerfüllbaren Wünsche gehören, denn die Vorbedingungen dazu sind eben nur in Amerika und den europäischen Kolonieen einigermassen vorhanden. „Die Berechnung genauer mittlerer Landeshöhen,“ sagt Hammer [99], „kann natürlich der Einzelne nicht durchführen; sie ist die Aufgabe der verschiedenen topographisch-geognostischen Landesuntersuchungen, wie sie in den meisten Staaten Europa's, in einzelnen Staaten Nord- und Südamerika's bereits durchgeführt oder in Ausführung begriffen sind, und durch welche allein die Forderung von Bruhns erfüllt werden kann, dass man nämlich zur zuverlässigen Berechnung der Mittelhöhe eines Landes die Höhenlage von 7 Punkten pro Quadratmeile genau kennen müsse.“

Es könnte demgemäss scheinen, als sei die Bestimmung von Mittelwerthen altimetrischer und bathometrischer Natur nur eine geistreiche Spielerei, ohne greifbaren Nutzen für die Wissenschaft. Das wäre entschieden zu weit gegangen. Im I. Bande (S. 203) erfuhren wir, dass eine wenn auch nur generelle Kenntniss dieser Mittelwerthe nicht entbehrt werden kann, wenn man für die Abweichungen zwischen Geoid und Sphäroid eine zahlenmässige Schätzung gewinnen will. Zum zweiten hat Peschel nur auf diese Weise den Satz [100] zu formuliren vermocht, „dass unsere Festlande als gewaltige Hochebenen über die Sohle der Oceane emporragen,“ einen Satz, der in seiner allgemeinen Fassung auch durch Verschärfung des Zahlenmateriales nicht verändert werden kann. Die Erkenntniss aber, dass der Flächeninhalt des Trockenen zu der Tiefe der Meere in einem bestimmten Verhältnisse steht, ist insoferne von geologischer Bedeutung, als dadurch die Leiter-Rolle beträchtlich eingeschränkt wird, welche eine frühere Theorie der Erdbildung den Gebirgen betreffs der Entstehung der Kontinente zugewiesen hatte. Endlich ist möglichst genaue Kenntniss der Mittelhöhen und Mitteltiefen auch ganz unentbehrlich bei der Lösung der Aufgabe des nächsten Paragraphen.

§. 9. **Gleichgewicht des festen und flüssigen Elementes.** Schon von je, darf man sagen, herrschte bei den Geographen die Ansicht vor, dass Meere und Festland sich Gleichgewicht hielten. In §. 3 des vorigen Kapitels erörterten wir die verschiedenen Lehrmeinungen, welche zu verschiedenen Zeiten über die geographische Vertheilung beider Grundstoffe obwalteten; jetzt können wir die damals absichtlich unterdrückte Bemerkung hinzufügen, dass statische Erwägungen die Gelehrten oft mehr beeinflussten, als das, was sie von den Dingen thatsächlich wussten. So trat ein G. Mercator für den mystischen

Australkontinent mit der ganz teleologischen Ausführung ein [101]: „Haec omnia importat centri gravitatis et mundi constitutio." Den schärfsten Ausdruck erhielt diese Gleichgewichtslehre durch Bergman [102], der ganz strenge nach dem Hebelgesetze seinen neuen Kontinent in die Gegend von Neuseeland verlegte, und noch R. Forster [103] verharrte anfänglich in dem gleichen Geleise. Wisotzki, dessen inhaltreicher Monographie wir auch hier gerne gefolgt sind, rechnet es Kant zur Ehre, mit diesem Schematismus gebrochen zu haben [104], wogegen es auch diesem unserem kundigen Führer entgangen ist, dass auch bei Lamarck und Anderen noch allerhand Anklänge an jene eingewurzelte geostatische Lehre des XVII. und XVIII. Jahrhunderts anzutreffen sind*), denen E. Schmidt entgegentrat.

In unseren Tagen hat dann Krümmel dieselbe wieder her-

*) Nach den Erläuterungen, welche A. Lang [105] zu der nicht eben leicht verständlichen „Hydrogéologie" Lamarck's macht, scheint es, dass dieser originelle Forscher bereits die einerseits durch die Kontinente, andererseits durch die Meere bedingten Ablenkungen des Erdschwerpunktes als gleich und dem Zeichen nach entgegengesetzt betrachtete. — E. Schmidt geht [106] in folgender Weise zu Werke. Man denke sich alles feste Land auf die Nordhemisphäre der Erdkugel vom Halbmesser R verlegt, nehme sogar an, dass es den dritten Theil der Gesammtoberfläche ausmache, und setze also sein Areal $= \frac{4}{3} R^2 \pi$. Im Mittel sei es um $\frac{R}{n}$ in das Meer eingesenkt, auch erhebe es sich im Mittel über jenes um $\frac{R}{m}$; dann sind die Gewichte des eingetauchten und des nicht eingetauchten Theiles, wenn ρ das spezifische Gewicht der Erdmasse bedeutet, resp. $= \frac{4}{3}\pi \cdot \frac{R^3}{n} (\rho - 1)$ und $= \frac{4}{3}\pi \cdot \frac{R^3}{m} \rho$. Das Uebergewicht der nördlichen über die südliche Halbkugel ist mithin gleich

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \left(\frac{\rho - 1}{n} + \frac{\rho}{m}\right),$$

und das Gewichtsverhältniss beider Halbkugeln ist gleich

$$\left[\frac{2}{3} R^3 \pi\rho + \frac{4}{3} R^3 \pi \left(\frac{\rho - 1}{n} + \frac{\rho}{m}\right)\right] : \frac{2}{3} R^3 \pi\rho = \left[1 + 2\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} - \frac{1}{\rho n}\right)\right] : 1.$$

Schmidt setzt nun Zahlenwerthe ein, welche ein Autor der Neuzeit allerdings etwas abändern würde, ohne doch eine wesentliche Umgestaltung des Schlussresultates herbeizuführen, und findet so obiges Verhältniss gleich

$$\left[1 + 2\left(\frac{1}{3440} + \frac{1}{17200} - \frac{1}{10320}\right)\right] : 1 = 1{,}000\,504 : 1.$$

Die nördliche Halbinsel würde nur um den zweitausendsten Theil schwerer sein, als die südliche, und zudem liegen ja in Wahrheit die Dinge weit günstiger, als absichtlich angenommen worden war. — Gegen Buache's Theorie vom Gezimmer wendet Schmidt Nachstehendes ein [107]: „Obwohl es ganz richtig ist, dass an mehreren Orten, wo die Länder nur durch Meerengen von unbedeutender Breite von einander geschieden sind, ein Zusammenhang der Berge des einen Landes mit denen des anderen stattfindet, so dürfte doch im Allgemeinen der Zusammenhang aller Berge unter einander schwer nachgewiesen werden können ..., da man vorzüglich den neueren Theorieen der inneren Beschaffenheit der Erde zufolge nicht annehmen kann, dass sich die Berge mit ihren Wurzeln bis nahe an den Mittelpunkt der Erde erstreckten, welches doch nöthig wäre, wenn sie dem festen Lande die Festigkeit ertheilen sollten."

vorgesucht, sich aber zugleich redlich bemüht, dieselbe in einer unserem heutigen Wissensstande angepassten Weise umzugestalten. Sein Grundgedanke stimmt in der Hauptsache überein mit dem von Lamarck (s. o.); in seiner ersten Veröffentlichung [108] äusserte er sich dahin, dass Gleichgewicht „zwischen der irdischen Meeresdecke und dem Erdfesten" herrsche, und dass diese Thatsache als Argument gegen die vielfach verlautbarte Behauptung verwerthet werden könne, es sei dereinst das Areal der Landflächen ein sehr viel kleineres gewesen. Später hat Krümmel die Gründe sehr eingehend entwickelt, von welchen er sich leiten liess [109]. Er bezeichnet mit M und F resp. die Areale von Meer und Land, mit c die mittlere Höhe der Kontinente, mit t die mittlere Tiefe der Oceane und sieht nun zu, ob, wenn ρ seine vorige Bedeutung beibehält, die supponirten Gleichungen

$$Mt\rho = Fd\,(t + c), \quad t = Fcd : (M\rho - Fd)$$

zu Recht bestehen. d ist die mittlere Dichte der Erde (s. Band I, S. 188). In der That ergiebt sich für t ein Werth, der gut zu dem aus den Lothungen abgeleiteten Mittelwerthe stimmt. Berücksichtigt man aber mit v. Boguslawski [110] die meist sehr flachen Böschungen der Länder, die Krümmel nothgedrungen als senkrecht abfallend voraussetzen musste, denkt man ferner daran, dass Krümmel's Werth für c nach den Ergebnissen des vorigen Paragraphen keinesfalls mehr der Wirklichkeit entspricht, so kann man sich der Ueberzeugung nicht verschliessen, dass das schöne rechnerische Facit von Krümmel's Kalkul mehr nur einem glücklichen Zufalle zu verdanken und nicht von einer sicheren geophysikalischen Grundlage getragen sei.

§. 10. **Beschaffenheit des Meeresgrundes.** Um das physiographische Kapitel zum richtigen Abschlusse zu bringen, haben wir noch die Frage zu erledigen, welche physische Beschaffenheit der Boden des Meeres denn eigentlich besitzt. Als Grenzlinie zwischen Festlandsockel und wirklichem Grunde gilt die Isobathe von 200 m (Hundertfadenlinie), von welcher aus die Tiefen besonders rasch nach aussen hin abzunehmen pflegen [111]. Nicht blos das wissenschaftliche Interesse führt darauf, Untersuchungen dieser Art zu pflegen, vielmehr werden dieselben gebieterisch durch die Praxis des Seemannes gefordert, für welch' Letzteren bei Nacht oder bedecktem Himmel die Kenntniss der Bodenbeschaffenheit sich als das einzig vertrauenswürdige Mittel der Orientirung erwiesen hat.

Zum Betriebe dieser eigenartigen Disciplin, der submarinen Geognosie oder Lithologie des Bodens, hat es nun freilich lange an geeigneten Hülfsmitteln gefehlt. v. Pourtalès, einer der Begründer dieses Wissenszweiges, schildert uns anschaulich deren allmähligen Aufschwung unter den Auspicien der amerikanischen Küstenvermessungs-Kommission [112]. Bache, seit 1844 „Superintendent" dieser Körperschaft, traf die einleitenden Maassregeln, sein Nachfolger Peirce ersetzte, auf die Anregung von Agassiz dem Vater hin, das Senkblei durch das Schleppnetz. Bisher hatte man sich nämlich begnügt, im Senkblei eine mit Talg ausgefüllte Höhlung anzubringen, in welcher sogenannte Grundproben zur Oberfläche emporgebracht wurden. Auch der Stab des uns aus §. 3 bekannten Brooke'schen Apparates war in diesem Sinne aptirt. Stellwagen und Sands erfanden dann

ihre „Sounding Coups", kleine, konische Becher von Gusseisen, welche an einen unter dem Lothe befindlichen Stengel angeschraubt und mit einem losen Lederdeckel verschlossen waren; dieser Deckel ward bei'm Heraufziehen durch den Wasserdruck fest angepresst, und so konnten die hineingedrungenen Bodenproben nicht wieder herausfallen. Aeusserst detaillirte Nachweisungen über die Bagger- und Schleppnetze der Neuzeit geben sowohl das deutsche [113] als auch das österreichische Admiralitätshandbuch [114]. Der Schleppsack unterscheidet sich vom Schleppnetz dadurch, dass er keine Lücken enthält; auf englisch heissen diese beiden Instrumente „dredge" und „trawl", und dieser erstere Ausdruck ist so heimisch in unserer deutschen Marinesprache geworden, dass man den Process des Boden-Absuchens geradezu Dredschen nennt. Nordenskiöld hat das Dredschen auch unter dem Eise erfolgreich zu betreiben gelehrt. Zur Absuchung geringerer Tiefen dient der sogenannte Schleppkäscher („tow-net")*). Mit Hülfe dieser Apparate ist man denn dahin gelangt, fünf verschiedene Kategorieen von oceanischen Bodenablagerungen zu unterscheiden, deren Eigenthümlichkeiten v. Boguslawski [116] ungefähr im Sinne unserer kurzen Skizze charakterisirt.

a) **Küstenablagerungen.** Es sind diess hauptsächlich Detritus-Produkte der Küsten und der von den Küstenflüssen mitgeführten Sinkstoffe, die immerhin oft so weit in's Meer hinausgeschwemmt werden, um einem Meerestheile Farbe und Namen zu verleihen („gelbes Meer" ?). Grüne und blaue Thone sind vorherrschend; in der Nähe vulkanischer Küsten kommen eruptive Gesteine, Laven, Bimsstein nicht selten vor. Der rothe Schlamm, der sich allenthalben längs der Ostküste von Südamerika findet, rührt von den ockerhaltigen Massen her, welche die dortigen Ströme in's Meer befördern. Atolle sind meist von Korallen-Schlamm umgeben. Welche Massen von Sedimenten das Meer enthält, ahnen wohl die Wenigsten. Wenn Doyle und Fitzpatrik im Rechte sind [117], so führen Irawaddi, Sittang und Salween dem Golfe von Martaban Material genug zu, um in der kurzen seit Anfertigung der bezüglichen englischen Admiralitätskarte verstrichenen Zeit einen Tiefenunterschied von mehr denn 20 m herbeizuführen, und nach Higgin ist Aehnliches auch für die Uruguay-Mündung zu erwarten [118]. Wyville Thomson's an die zu Dublin versammelte British Association gerichtete „Offene Adresse" ist auch unter diesem Gesichtspunkte lesenswerth.

b) **Globigerinen-Schlamm.** Derselbe besteht wesentlich aus Globigerinen, kalkschaligen Rhizopoden, welche zur Gruppe der Polythalamien oder Foraminiferen zählen. Dieser Schlamm ist überall in Tiefen zwischen 450 und 3500 m vertreten. Lebende organische Bestandtheile hat man bis heute noch nicht darin angetroffen**).

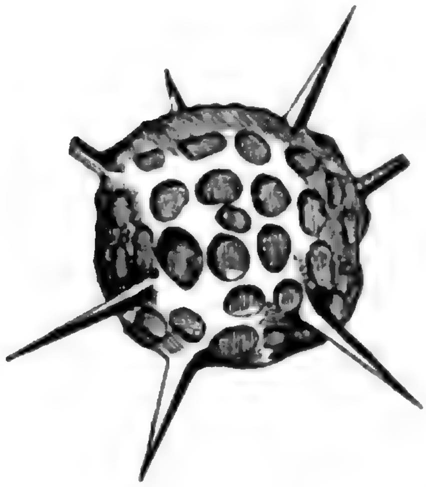
---

*) Torell und K. Chydenius konstruirten für die schwedische Expedition nach Spitzbergen leichte Bodenkratzer, welche sich gut bewährten, für grössere Tiefen aber durch die Mac Clintock'sche Bulldogmaschine (nach dessen Schiffe so benannt) ersetzt werden mussten, an welcher man jedoch ebenfalls Modifikationen anbrachte. Eine elastische Feder liess die auseinandergehaltenen „Schöpfer" energisch zusammenschlagen [115].

**) v. Boguslawski verbreitet sich auch [119] anhangsweise über den sogenannten Bathybius Haeckelii, den der berühmte englische Zoologe Huxley

c) **Radiolarien-Schlamm.** Die Radiolarien, deren eine uns Fig. 68 vorführt, bilden die höher entwickelte zweite Ordnung der Klasse der Rhizopoden. Der Kieselpanzer dieser Thiere, welche sich durch ihren Formenreichthum auszeichnen, bedeckt den Boden fast aller Meere, doch nur in grösseren Tiefen (4100 bis 8400 m) in solcher Dichte, dass er den Charakter der Grundablagerung bestimmt.

Fig. 68.



d) **Diatomeen-Schlamm.** Diese Algen-Art besitzt ebenfalls einen Kieselpanzer, und Stücke solcher Panzer bilden das bezeichnende Merkmal des Schlammes aller südlichen Meere zwischen dem 53. und 63. Parallel. Gänzlich fehlt diese Art jedoch nirgends.

e) **Tiefsee-Thon.** Derselbe, von grauer oder rother Farbe, ist am meisten verbreitet; Sein Bezirk beginnt im Atlantik etwa bei 4400 m, im indischen und pacifischen Ocean bei 3660 m. Mikroskopische Mineralpartikelchen sind dem Thone allenthalben eingebettet, besonders häufig begegnet man dem Mangansuperoxyd.

Nähere Nachweisungen über die Art und Weise des Auftretens jeder der hier besprochenen Ablagerungen in den irdischen Meeren bietet das österreichische Handbuch [121]. Uns würde hier eine solche Aufzählung zu weit führen. Auch von der pelagischen Thierwelt wird erst in der letzten Abtheilung gehandelt werden können*).

[1] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie, 1. Band. Wien 1883. S. 142. — [2] Ibid. S. 145. — [3] Forel, Thèses de géographie physique, Bull. de la soc. Vaudoise des sc. nat., Vol. X. S. 468 ff. — [4] Krümmel, Die äquatorialen Meeresströmungen des atlantischen Oceanes und das allgemeine System der Meerecirkulation, Leipzig 1877. S. 8. — [5] A. Kirchhoff, Recension hiezu, Jen. Literaturzeitung, 1877. S. 52. — [6] Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, Leipzig 1879. S. 61 ff. — [7] Krimmel, Nekrolog des k. württembergischen Oberstudienrathes v. Nagel, Tübingen 1884. S. 5. — [8] Krümmel, Versuch etc. S. 38. — [9] Günther, Die Küstenentwickelung,

als eine organische Urform in die Wissenschaft eingeführt hatte. Einen noch weniger differentiirten Protoplasma-Klumpen ohne alle Coccolithen, den er aus diesem Grunde Protobathybius nannte, fand Bessels im nördlichen Smith-Sund, nur wenige Tage vor dem Schiffbruche der „Polaris" [120]. Allein auch dieser Forscher hatte sich ebensosehr in Täuschung bewegt, wie seine berühmten Fachgenossen Häckel und Wyville Thomson: durch Möbius und Buchanan, den Chemiker der Challenger-Expedition, wurde unzweideutig festgestellt, dass die kreidige, flockige Masse in der freien Natur gar nicht so existirt, wie sie die genannten Naturforscher beschrieben haben, dass dieselbe vielmehr ein Produkt des Laboratoriums ist. Der im Seewasser enthaltene Gips wird durch Zusatz von Alkohol gefällt.

*) Nur das sei bemerkt, dass die vielfach in populären Schriften vorgetragene Lehre, wonach jenseits einer gewissen Tiefe das organische Leben vollkommen erstorben sein und die Ruhe des Grabes walten soll, den Ergebnissen der neueren Tiefseeforschung gegenüber nicht mehr haltbar ist. Schmarda bemerkt [122], dass dieser grosse Fortschritt unserer Erkenntniss durch Wallich angebahnt wurde, der, als Theilnehmer der „Bulldog"-Reise, im Jahre 1860 einen Seestern (Ophiura spinosa) lebend aus einer Tiefe von ungefähr 2400 m heraufholte

ein mathematischer Beitrag zur vergleichenden Erdkunde, Arch. d. Math. und Phys., 57. Theil. S. 277 ff.; Die wahre Definition des Wortes Küstenentwickelung, Verhandl. des zweiten deutschen Geographentages, Berlin 1883. S. 140 ff. — [10] Ibid. S. 146. — [11] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde. (3. Aufl.) Leipzig 1878. S. 5 ff. — [12] Ibid. S. 70. — [13] Weinberg, Recherches sur la disposition et la configuration des continents et des îles, Bull. de la soc. imp. des natur. de Moscou, 1869. S. 198 ff. — [14] P. Lehmann, Kritischer Exkurs über Peschel's Morphologie der Erdoberfläche, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 10. Band. S. 97 ff. — [15] Zöppritz, Recension zu Krümmel's Meeresströmungen, Gött. Gel. Anz., 1878. S. 517. — [16] Krümmel, Versuch etc., S. 65. — [17] Günther, Die bathometrischen Instrumente und Methoden, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1883. — [18] Wolkenhauer, zur Geschichte der Tiefenmessungen, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 1. Jahrgang. S. 589 ff. — [19] v. Boguslawski, Handbuch der Oceanographie, 1. Band, Stuttgart 1884. S. 51 ff. — [20] Handbuch etc., S. 61 ff. — [21] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882. S. 160 ff. — [22] A. v. Humboldt, Kleinere Schriften, 1. Band, Stuttgart und Tübingen 1853. S. 445 ff. — [23] F. Pfaff, Einige Bemerkungen über Tiefenbestimmungen von Seen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 10. Band, S. 166 ff. — [24] British Association, Section Mechanical Science, Athenaeum, 1872. S. 280. — [25] Jeffreys-Carpenter-Thomson, On the scientific exploration of the Deep-Sea, Proceed. of the R. Soc., Vol. XVIII S. 403 ff. — [26] White, Apparat zur Tiefenmessung, Polytechn. Centralblatt, 1875. S. 1470 ff. — [27] Blancanus, Sphaera mundi seu cosmographia, Mutinae 1635. S. 1470 ff. — [28] Pühler, Ain kurtze unn grundliche anleytung zu dem rechten Verstand Geometriae, Dillingen 1563. S. 652. — [29] Hooke-Derham, Philosophical experiments and observations, London 1726. — [30] Molinelli, De gravium corporum decursu in aqua, Comment. Bonon., Tom. V., 1. S. 280 ff. — [31] Stipriaan Luiscius, Beschreibung einer Meeressonde oder eines Bathometers, mit dem sich jede Tiefe messen lässt, (Gilbert's) Ann. d. Phys., 30. Band. S. 417 ff. — [32] Ibid. S. 421 ff. — [33] Emsmann, Physikalisches Handwörterbuch, 1. Band, Leipzig 1865. S. 80 ff. — [34] Ergebnisse der Bathometrie, Ausland, 1872. S. 500. — [35] Handbuch etc., S. 64. — [36] Belknap, Deep-Sea sounding in the North Pacific Ocean, Washington 1875. — [37] Sigsbee, Deep-Sea sounding and dredging, Washington 1880. — [38] Emsmann, Vorschlag eines neuen Bathometers, Dingler's Polytechn. Journal, 198. Band. S. 188 ff. — [39] Delabar, Notizen über zwei neue physikalische Apparate, ibid. S. 103 ff. — [40] Schreiber, Ueber einige neue Apparate zu Tiefenmessungen, ibid. 213. Band. S. 312 ff. — [41] Hopfgartner-Arzberger, Ein neues Tiefenloth, Wien 1876. — [42] Rühlmann, Ableitung der Formeln für Messungen der Meerestiefen mit Hülfe des Manometers, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 5. Band. S. 558 ff. — [43] Stahlberger, Das Rheobathometer, (Carl's) Repert. f. Experimentalphysik, 10. Band. S. 376. — [44] Seetiefenmesser und Anziehungsmesser von C. W. Siemens in London, Dingler's Pol. Journal, 221. Band. S. 43 ff. — [45] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 57 ff. — [46] Handbuch etc., S. 183 ff. — [47] J. J. Wild, Thalatta; an essay on the depth, temperature and currents of the ocean, London 1877. S. 11 ff. — [48] v. Boguslawski, Die Tiefsee und ihre Boden- und Temperaturverhältnisse, Berlin 1878. — [49] Ibid. S. 14. — [50] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 390 ff. — [51] Ibid. S. 59. — [52] Kayser, Physik des Meeres, Paderborn 1873. S. 165 ff. — [53] Schellen, Das atlantische Kabel, Braunschweig 1867. — [54] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 60. — [55] Maury, Physische Geographie des Meeres, deutsch von Böttger, Leipzig 1856. S. 199. — [56] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 19 ff. — [57] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 78. — [58] v. Boguslawski, Bericht über die Ergebnisse der Tiefseeforschung, 1878 bis 1882, Wagner's Geogr. Jahrb., 9. Band, Gotha 1883. S. 454 ff. — [59] Krümmel, Ueber die Ergebnisse der Tiefseeforschung in den nördlichsten Theilen des atlantischen Oceans, Ann. d. Hydrogr. u. marit. Met., 18. Band. S. 454 ff. — [60] v. Boguslawski, Die Tiefsee etc., S. 24 ff. — [61] Handbuch etc., S. 205 ff. — [62] Ibid. S. 201 ff. — [63] Krümmel, Bemerkungen zur Tiefenkarte des indischen Oceans, Zeitschr. f. wiss. Geogr., 2. Jahrgang. S. 116 ff. — [64] Krümmel, Das Relief des australasiatischen Mittelmeeres, ibid. 3. Jahrgang. S. 1 ff. — [65] Mohn, Die norwegische Nordpol-Expedition, Ergänzungsheft Nr. 63 zu Petermann's Geogr Mittheil., Gotha 1880. — [66] Handbuch etc., S. 198 ff. — [67] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 89. — [68] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. S. 15. — [69] Ibid. S. 20. — [70] Ibid. S. 27. — [71] Handbuch etc., S. 193 ff. — [72] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 95 ff. — [73] Peschel, Neue Probleme etc., S. 73. — [74] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf

Alexander v. Humboldt und Carl Ritter, München 1877. S. 719. — [75] Ibid. S. 806. — [76] Börsch, Von den Unebenheiten des festen Landes, insbesondere vom Gebirge, Marburg 1817. S. 16. — [77] Hiekisch, Das System des Urals, Dorpat 1882. S. 229 ff. — [78] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 63. — [79] Handbuch etc., S. 215. — [80] Peschel, Neue Probleme, S. 84. — [81] Ibid. S. 75 ff. — [82] Grunert, Ueber die mittlere Entfernung einer Figur von einem Punkte oder über die sogenannte mittlere Entfernung des Ackers vom Hofe, Greifswald 1840. — [83] Drobisch, Ueber die mittleren Radien der Linien, Flächen und Körper, Ber. über die Verhandl. d. k. sächs. Ges. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 10. Band, S. 124 ff. — [84] Schlömilch, Ueber den mittleren Radius des dreiaxigen Ellipsoides, ibid. 11. Band. S. 87 ff. — [85] Krümmel, Versuch etc., S. 71 ff. — [86] Supan, Recension hiezu, Mittheil. d. k. k. geogr. Ges. zu Wien, 1879. S. 305 ff. — [87] v. Boguslawski, Recension hiezu, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 6. Band. S. 231 ff. — [88] Krümmel, Die mittlere Tiefe der Oceane, Zeitschr. f. wiss. Geogr., 1. Jahrgang. S. 40 ff. — [89] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde. 1. Band. Leipzig 1879. S. 413 ff. — [90] Krümmel, Versuch etc., S. 81. — [91] Handbuch etc., S. 40. — [92] A. v. Humboldt, Kl. Schr., 1. Band S. 438 ff.; Asie centrale, Vol. I., Paris 1843. S. 175. — [93] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 1. Band. S. 423. — [94] Leipoldt, die mittlere Höhe Europa's, Plauen 1874. — [95] Toner, Dictionary of elevations in the United States, New-York 1874. S. 438. — [96] Gannet, Lists of elevations principally in that portion of the United States west of the Mississippi River, Washington 1877. S. 159 ff. — [97] Ratzel, Physische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 44 ff. — [98] Chavanne, Die mittlere Höhe Afrika's, Wien 1881. — [99] Hammer, Ueber mittlere Höhen und Tiefen, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 447. — [100] Peschel, Neue Probleme, S. 81. — [101] G. Mercator, Atlas sive cosmographicae meditationes de fabrica mundi, ed. Hondius. Amstelodami 1606. Bl. 22. — [102] Bergman, Physische Beschreibung der Erdkugel, deutsch von Röhl, 1. Band, Greifswald 1780. S. 18 ff. — [103] J. R. Forster's Bemerkungen auf einer Reise um die Welt, deutsch von G. Forster, Berlin 1783. S. 58 ff. — [104] Wisotzki, Die Vertheilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche, Königsberg 1879. S. 30 ff. — [105] A. Lang, Lamarck und Darwin, ein Beitrag zur Geschichte der Entwickelungslehre, Kosmos, 1. Band. S. 246. — [106] E. Schmidt, Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie, 2. Theil, Göttingen 1830. S. 21 ff. — [107] Ibid. S. 25. — [108] Krümmel, Die mittleren Tiefen der Oceane und das Massenverhältniss von Land und Meer, Gött. Nachr., 1878. S. 562. — [109] Krümmel, Versuch etc., S. 102 ff. — [110] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 62 ff. — [111] Ibid. S. 54. — [112] v. Pourtalès, Der Boden des Golfstromes und der atlantischen Küsten, Petermann's Geogr. Mittheil., 1870. S. 393 ff. — [113] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882. S. 179 ff. — [114] Handbuch etc. S. 80 ff. — [115] Torell-Nordenskiöld, Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland, deutsch von Passarge, Jena 1869. S. 370 ff. — [116] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 66 ff. — [117] Doyle, Deltaic growth, Nature, Vol. XIX. S. 506. — [118] Higgin, Deltaic growth, ibid. Vol. XIX. S. 555. — [119] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 69. — [120] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879, S. 321. — [121] Handbuch etc., S. 232 ff. — [122] Schmarda, Bericht über die Fortschritte unserer Kenntniss von der geographischen Vertheilung der Thiere, Wagner's Geogr. Jahrbuch. 8. Band, Gotha 1881. S. 148.

Kapitel III.

Temperatur, Salzgehalt und chemische Zusammensetzung der Meere.

§. 1. **Geschichte der submarinen Thermometrie.** Der erste Seemann, welcher planmässig, und zwar mit Hülfe eines von **Hales** hergestellten Seetiefenthermometers, die Wärme in grösseren Tiefen be-

stimmte, wäre nach Peschel [1] der Engländer Ellis gewesen, der 1749 eine Fahrt nach der Nordwestküste von Afrika unternahm. Lange Zeit dauerte es nachher noch, bis auch dieser wichtigen Seite der Erdphysik die gebührende Beachtung geschenkt ward. Prestwich, dessen Arbeit [2] auf sorgfältige Quellenstudien gegründet ist, berichtet, dass bis 1830 — Gehler's Lexikon — nur 226 und bis 1833 — Dumont d'Urville — nur erst 421 derartige Messungen vorlagen. Der jüngere Parrot vervollkommnete jenen Hales'schen Apparat, und in dieser neuen Form diente er den Bestimmungen eines Cook und R. Forster (1772), eines Scoresby (1810 und 1822), eines v. Kotzebue (1815), Wenchope (1816), J. Franklin und Buchan (1818) und Lenz (1823). Letzterer ist der Urheber einer neuen Aenderung, durch welche in Gemässheit eines von J. Biot aufgestellten Gesetzes der Thatsache Rechnung getragen werden soll, dass Thermometer und Wasserschöpfer Wasserschichten von nicht durchaus gleicher Wärme zu passiren haben. Auch ist es das Verdienst von Lenz, zuerst darauf hingewiesen zu haben, dass in grossen Tiefen auch den Tropenmeeren sehr niedrige Temperaturen eigen sind. Saussure (1780) und Péron (1800) bedienten sich der Vorsicht, ihre Thermometer in schlecht leitende Stoffe eingehüllt zu versenken. Allmählig wusste sich das Six'sche Thermometer viel Anklang zu verschaffen, mit welchem besonders v. Krusenstern (1803) und John Ross (1817) arbeiteten. Ein weiterer Fortschritt bahnte sich bei Du Petit Thouars' Reise im Jahre 1832 an, indem nunmehr die (Bunten'schen) Wärmemesser durch umschliessende Cylinder gegen den Wasserdruck geschützt wurden; 59 Messungen stellte man in dieser Weise an, von denen jedoch Arago blos 21 zu verwerthen vermochte. Martins und Bravais benützten bei ihrer Nordfahrt (1839) ein Tiefseethermometer von Walferdin, und Pullen brachte (1857) ein neues Werkzeug zu Ehren, welches von dem bekannten Admiral Fitzroy angegeben worden war. — Prestwich reducirte sämmtliche Angaben auf die nämliche Thermometerskala, die nämliche Einheit für die Tiefendimension und den nämlichen Meridian und brachte so drei umfassende Tabellen zusammen, in welchen resp. die Nordhalbkugel, die Südhalbkugel und die Binnenmeere berücksichtigt sind; auch konstruirte er zuerst eine Karte der Tiefenisothermen. Auf diesen Vorarbeiten beruht grossentheils, was in den Werken v. Boguslawski's [3], J. J. Wild's [4] und der österreichischen Gelehrten [5] über Tiefseetemperaturen enthalten ist, doch hat namentlich auch der Erstere es sich angelegen sein lassen, mit wahrem Bienenfleisse alle neueren Arbeiten und Nachrichten zu sammeln, wie sich Jedermann durch einen Blick in die von Jenem früher geleiteten „Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie“ überzeugen kann.

§. 2. **Luft- und Wassertemperatur in ihrem Gegensatze.** An der Oberfläche des Meeres, längs welcher Wasser und Luft sich berühren, können erhebliche Wärmedifferenzen zwischen beiden Elementen nicht wohl auftreten und keinenfalls sich längere Zeit hindurch erhalten. Im Durchschnitte des Jahres pflegt die Temperatur der untersten Luftschicht um 1° niedriger zu sein, als jene der obersten Wasserschicht. Es liegt diess an der grösseren Wärmekapazität des

Wassers*), und da das Wasser zugleich ein schlechter Wärmeleiter ist und seine Oberflächenschichten sich in einer steten vertikalen Cirkulation befinden, so ist die Wasser- und Lufttemperatur an der Meeresfläche eine weit stabilere, als auf dem Festlande. Die Amplitude des täglichen Wärmeganges ist im ersteren Falle ebenfalls eine weit geringere, und während auf dem festen Lande das tägliche Temperaturmaximum zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags fällt, tritt es über den Oceanen erst eine bis zwei Stunden vor Sonnenaufgang ein [7]. Uebrigens äussern, wie namentlich aus der von Toynbee dem „Meteorological Council" vorgelegten Diskussion von 25000 Einzelbeobachtungen im Atlantik hervorgeht, die Jahreszeiten immerhin einen gewissen Einfluss auf den Unterschied zwischen Luft- und Wassertemperatur. Im nördlichen Theile jenes Meeres ist die Luft im Herbst und Winter kälter, im Sommer wärmer und im Frühling ebenso warm, wie das Wasser.

Selbstverständlich verliert die variable Lufttemperatur schon in einer verhältnissmässig geringen Tiefe ihren Einfluss auf die Wasserwärme, und die Bestimmung dieser letzteren ist, sobald man nur von einer dünnen obersten Schicht absieht, ein Problem für sich, welches nicht mehr einen meteorologischen, sondern einen rein oceanographischen Charakter hat. Lange Zeit behalf man sich angesichts des geringen Erfahrungsmateriales, über welches man verfügte, mit theoretischen Spekulationen, denen zudem die Autorität eines J. Herschel und James Ross, welch' Letzterer sich ja auf eigene Wahrnehmungen berufen konnte, eine unverdiente Stütze verlieh [8]. Es wird sich empfehlen, auf diese Hypothesen und auf deren allmählige Ueberwindung durch den Fortschritt der physikalischen Erkenntniss näher einzugehen.

§. 3. **Hypothesen über das Dichtigkeitsmaximum des Meerwassers.** Bekanntlich zeigt sich süsses Wasser darin ganz verschieden von anderen Flüssigkeiten, dass es seinen höchsten Koncentrationsgrad nicht erst bei'm Gefrierpunkte, sondern schon bei + 4° Celsius erhält und somit bei weiterem Sinken der Temperatur sich wieder ausdehnt. Unbesehen übertrug man diese Eigenschaft auch auf das Meerwasser und kombinirte sich danach folgendes System der oceanischen Wärmevertheilung zurecht, welches, wenn es nur der Natur entspräche, den Vorzug grosser Einfachheit für sich hätte: In den Meeren zwischen dem Aequator und (ungefähr) dem 56. Parallel nimmt die Wärme mit der Tiefe ab, bis sie 4° erreicht, in der Gegend jenes Parallelkreises ist die Temperatur auf beiden Halbkugeln eine durch die ganze Wassermasse hindurch gleichmässige, nämlich eben gleich 4°, und weiter gegen die Pole hin soll sogar die Temperatur nach unten zu steigen. Man ersieht leicht, dass dieses Lehrgebäude mit der ihm zu Grunde gelegten Annahme von der Identität des Dichtigkeitsmaximums bei süssem und salzigem Wasser steht und fällt.

Nun ist allerdings schon von einer Reihe von Forschern der

---

*) Neue und scharfe Werthe für die spezifische Wärme des Wassers hat uns Velten gegeben [6]. Dieselbe ist zwischen 7°,31 und 10°,87 = 0,015365, zwischen 10°,87 und 14°,59 = 0,015461, zwischen 14°,59 und 18°,36 = 0,015613, zwischen 18°,36 und 27°,67 = 0,015461, zwischen 27°,67 und 40°,58 = 0,015219, zwischen 40°,58 und 56°,13 = 0,015349 und endlich gegen 100° hin = 0,015506. Als Mittelwerth ist mithin 0,015 zulässig.

Nachweis geführt worden, dass diese Identität in Wahrheit gar nicht vorhanden sei. Marcet (1819), P. Erman (1827 und 1837), G. Karsten (1845), v. Neumann (1861) hatten sich, gestützt auf Experimente, in diesem Sinne vernehmen lassen, allein das Gewicht der vorerwähnten Namen liess alle diese Stimmen nicht recht aufkommen, und Mühry gab [9] zwar zu, dass ein Dichtigkeitsmaximum des Meerwassers bereits bei einem Kältegrade liege, allein er glaubte aus seiner Theorie der Meeresströmungen den Schluss ziehen zu müssen, dass noch ein zweites Maximum zwischen 0° und 4° gelegen sein müsse. Heute kann diese Frage als eine zum Abschlusse gebrachte gelten, und dass dem so, ist hauptsächlich das Verdienst von L. Weber, Rosetti und Zöppritz. Der Erstgenannte legt dar, dass man durch dreierlei Methoden die dem Maximum entsprechende Temperatur finden könne: durch die galvanometrische Methode Exner's, durch die Abkühlungsmethode und durch die hydrodynamische Methode [10]. Bei letzterer, die auf Joule zurückgeht, werden zwei Gefässe neben einander gestellt, die unten durch eine verschliessbare Röhre, oben durch eine Rinne mit einander verbunden sind. Sind die in beide Gefässe eingefüllten Flüssigkeiten ungleich dicht, so muss, wenn die untere Verbindung hergestellt ist, in der oberen Rinne ein Strom von der leichteren zur schwereren Flüssigkeit hinübergehen, und wenn trotzdem kein solcher Strom bemerklich ist, während doch die in die beiden Gefässe eingeführten Thermometer verschieden hoch stehen, so liegt der Temperatur t_1 des einen dieser Thermometer ebensoviel über der Temperatur t_m des Dichtigkeitsmaximums, wie die Temperatur t_2 des anderen Thermometers darunter liegt. Es ist somit $t_m = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$.
Anders ging Rosetti vor [11]. Sein Dilatometer hat die Gestalt eines grossen Thermometers. Das getheilte Rohr ist an dem einen Ende verbunden mit einem cylindrischen Gefässe, am anderen mit einem Trichter, auf welchen ein abgeschliffener Glashut passt. Man bestimmt die Kapazität des Apparates bei 0°, ebenso sein Gewicht und das der Luft, endlich den kubischen Ausdehnungskoefficienten und die Kapazität zwischen zwei Theilstrichen. Hierauf füllt man den Apparat mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, lässt ihn solange im Eisbade stehen, bis die Flüssigkeitssäule stabil bleibt und liest nun sowohl an dem Rohre, als auch an dem in das Bad eingetauchten Thermometer ab. Jetzt wiegt man das Ganze, subtrahirt von dem ermittelten Gewichte dasjenige des leeren Apparates und erhält so das Gewicht P_t der Flüssigkeit, welche bei der Temperatur t bis zum Theilstriche n reicht. Ist V_t deren Volumen, d_t die Dichte, so ist $d_t = P_t : V_t$. Wenn nun die Kapazität des Apparates bis zum Theilstriche 0 bei 0° durch R_0 und der mittlere kubische Ausdehnungskoefficient zwischen 0° und t° mit k bezeichnet wird, so ist $R_t = R_0(1 + kt)$. Endlich sei Π das Gewicht des zwischen zwei Theilstrichen enthaltenen Quecksilbers, D dessen Dichte, dann ist $\frac{n\Pi}{D}$ das Volumen zwischen den zwei Theilstrichen, und wenn die Flüssigkeit bis zur nten Abtheilung hinaufreicht, so ist

$$V_t = R_t + \frac{n\Pi}{D} = R_0(1 + kt) + \frac{n\Pi}{D}\,;\quad d_t = \frac{P_t \,.\, D}{R_0 D(1 + kt) + n\Pi}.$$

Unter Anwendung eines von Schiaparelli [12] angegebenen Ausgleichungsverfahrens gelangt Rosetti [13] zu folgender das Volumen V_t zwischen -5^0 und $+100^0$ recht genau darstellenden Relation:

$$V_t = 1 + 0{,}00000837991\,(t - 4^0)^2 - 0{,}000000378702\,(t - 4^0)^{2,6} + 0{,}0000000224329\,(t - 4^0)^3.$$

Werthet man diese Formel aus, so gelten für Meerwasser nach den Jahreszeiten die nachstehend angegebenen Beziehungen*):

Juli: Spezifisches Gewicht = 1,0266987; Dichtigkeitsmaximum bei $-3^0{,}21$; Gefrierpunkt bei $-1^0{,}90$;

November: Spezifisches Gewicht = 1,0281413; Dichtigkeitsmaximum bei $-3^0{,}90$; Gefrierpunkt bei $-2^0{,}10$.

An diese Bestimmungen knüpft die gehaltreiche Abhandlung von Zöppritz [14] an. In derselben werden umfängliche Versuchsreihen mitgetheilt, durch welche thunlichst die im freien Meere obwaltenden Verhältnisse nachgeahmt sind [15]. Dieselben passen [16] sehr gut zu den submarinen Thermometerbestimmungen des „Porcupine“, durch welche der Möglichkeit einer homothermischen Tiefenerfüllung der Oceane und nicht minder derjenigen eines hoch gelegenen Maximums für die Dichte des Meerwassers endgültig der Lebensfaden abgeschnitten ward. Mit Zöppritz [17) können wir das erreichte Resultat aussprechen, wie es hier geschieht: Im strömungslosen Meere nimmt das Wasser bis zu seinem Gefrierpunkte hin an Dichte zu, wodurch es sich principiell von gewöhnlichem Wasser unterscheidet, und wenn trotzdem in Ausnahmefällen mit wachsendem Drucke eine Zunahme der Temperatur beobachtet wird, so ist an eine Abkühlung von der Oberfläche her zu denken.

§. 4. **Tiefsee-Thermometer.** Wenn es sich so verhält, so ist damit zugleich entschieden, dass eine aprioristische Theorie nicht ausreicht, um von der vertikalen Wärmevertheilung im Meere ein treues Bild zu liefern. Hiezu können uns vielmehr ganz allein wirkliche Beobachtungen verhelfen, deren Werth von der Güte der Instrumente abhängt. Eine kurze Uebersicht über diese letzteren ward bereits oben in §. 1 geliefert, gegenwärtig aber können blos drei Modelle als wirklich brauchbar und weiterer Verbesserung fähig in Betracht kommen, nämlich diejenigen von Neumayer, von Miller-Casella und von Negretti-Zambra. Auch diese Apparate genügen keineswegs dem Ideale, und gerade je vorsichtiger ein Forscher verfährt, desto mehr Ursache hat er häufig, mit denselben unzufrieden zu sein; konstatirt doch z. B. Mohn in seinem uns aus dem vorigen Kapitel bekannten Berichte über die Vöringen-Expedition, dass auch die besten Instrumente mit einer gewissen „Launenhaftigkeit“ behaftet seien und oftmals ohne erkennbaren Grund eine Indexverschiebung ergäben**).

---

*) Bei bewegtem Wasser rückt das Maximum nach Wyville Thomson bis zu $-2^0{,}55$ hinauf.

**) Dass auch aus anderen Gründen strenge Vorsicht bei unterseeischen Wärmemessungen geboten ist, darüber belehrt uns neben anderen auch eine Angabe von J. Girard [18]. Eine einzige Stunde Fahrzeit des Dampfers führte eine Veränderung von 7 Temperaturgraden herbei; man war eben aus der einen japanischen Strömung in die andere hinübergelangt.

Die nachfolgende Beschreibung stützt sich theilweise auch auf die detaillirten Schilderungen des offiziellen deutschen Handbuches [19].

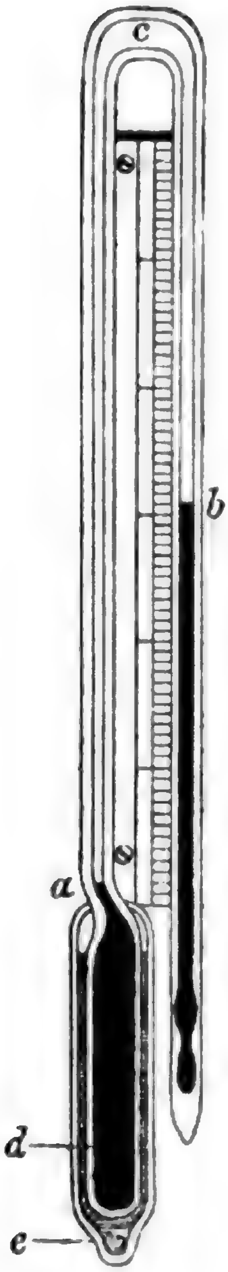
a) **System Neumayer.** Dieser sinnvolle Registrirapparat, dessen Ausführung indess, soweit uns bekannt, noch nicht nach Wunsch gediehen ist, beruht auf der photographischen Abbildung der Quecksilbersäule eines gewöhnlichen Thermometers [20]. Eine Geissler'sche Röhre ist in dem in's Wasser versenkten Gehäuse neben dem Thermometer angebracht, und durch Schliessung eines Stromes kann in ersterer ein elektrischer Funke zum Ueberspringen gebracht werden. Die Röhre des Thermometers wird durch den Funken erleuchtet, ihr Schatten fällt auf Talbot'sches Papier; dasselbe ist auf eine Trommel aufgewickelt, die mittelst Uhrwerk in bestimmter Zeit sich einmal umdreht. Auch die Skala bildet sich richtig ab, wenn nur für eine genaue parallele Stellung der Axen beider Röhren Sorge getragen ist. Neumayer ist der Meinung, dass durch das Leuchten keine messbare Erwärmung herbeigeführt wird, während allerdings Gintl (Prager Technische Blätter, 1874. S. 64) die hier angedeutete Gefahr einer Fehlerquelle nicht für ausgeschlossen erachtet. Michaelis hat die momentane Funkenwirkung durch eine Glühlichtlampe ersetzt, nachdem er sich vorher durch viele Versuche von der photographischen Kraft dieser Art von Licht überzeugt hatte [21].

b) **System Miller-Casella.** Wir haben es hier zu thun mit einer Verbesserung der gewöhnlichen Registrirthermometer (S. 102 ff.) dieses Bandes. Die Thermometerröhre hat eine U-förmige Krümmung und ist an dem einen Ende bedeutend, an dem anderen dagegen sehr wenig erweitert. Der als thermoskopische Substanz dienende Alkohol füllt die grosse Ausbauchung gänzlich, die kleinere aber nur zum Theile aus und ist in der Gegend der Umbiegung durch einen Quecksilberfaden getheilt. Wenn sich nun die Temperatur ändert, so dehnt sich der Inhalt beider Erweiterungen aus oder er zieht sich zusammen, und da somit auf die Endflächen des Quecksilbercylinders ein verschieden starker Druck ausgeübt wird, so muss das Quecksilber in dem einen Schenkel sinken, in dem anderen steigen. Die beiden Schenkel sind in Folge dessen durch die Aufschriften „Wärme" und „Kälte" charakterisirt, und je nachdem die Säule in einem der beiden ihren höchsten Stand erreicht hat, wird die Maximal- und Minimaltemperatur angezeigt. In jedem Schenkel ruht auf dem Meniskus des Quecksilbers ein Eisenstiftchen, welches von der Flüssigkeit fortgeschoben wird, bei deren Zurückweichen aber nicht herabfällt, da elastische Härchen dasselbe an der Glaswand festhalten. Mit Hülfe eines Magneten werden diese Indices, ehe der Apparat in's Wasser gelassen wird, auf ihren normalen Stand herabgezogen.

c) **System Negretti-Zambra.** Bei demselben wird, wie die Erfinder hervorheben [22], direkt diejenige Temperatur bestimmt, welche zur Zeit der Beobachtung gerade an jenem Punkte besteht, bis zu welchem das Instrument gelangt ist. Fig. 69 zeigt, durch welche Mittel dieser Zweck erreicht wurde. Die Thermometerröhre hat jetzt eine Biegung, wie ein auf dem Kopfe stehendes U, bei a finden wir eine Verengerung, bei c eine nach beiden Seiten langsam verlaufende Erweiterung vor. Dass das Thermometergefäss d in eine selbst wieder grösstentheils mit Quecksilber angefüllte Glaskapsel e eingesetzt ist, hat ledig-

lich den prophylaktischen Zweck, die direkte Einwirkung des starken hydrostatischen Druckes hintanzuhalten. Nachdem das Rohr graduirt ist, füllt man, ehe man zum eigentlichen Gebrauche schreitet, durch Umdrehung des Apparates alles vorhandene Quecksilber in jene Seite der Röhre hinüber, auf welcher sich auch das Gefäss befindet. Wenn man dann das in ein Messinggestell eingesetzte Thermometer an jene Stelle gebracht hat, deren Erwärmungszustand man erkennen will, lässt man es daselbst solange ruhig stehen, als man ihm zur Akkommodation an die Umgebung Zeit lassen will, und holt es dann wieder ein. Die erste Bewegung dieser Art veranlasst aber eine im Gestelle unter dem Thermometer angebrachte Schraube dazu, das letztere um seine Axe zu drehen, dadurch reisst das Quecksilber bei a ab und fliesst hinüber nach dem anderen Schenkel, wo nunmehr b den höchsten Punkt des abgerissenen Stückes markirt. Weiter kann sich das Thermometer nicht drehen, da sich gleich wieder eine Hemmung einschiebt. — Manchen Vorzügen dieses Instrumentes stehen auch Mängel entgegen, deren hauptsächlichster wohl der ist, dass ein heftiges Schaukeln des Schiffes die Umdrehung des Thermometers ganz leicht schon in einem Zeitpunkt veranlassen kann, da man eigentlich eine solche noch nicht bewirkt haben will. J. Wolf, Luksch und Köttstorfer ertheilen deshalb den Rath, „Negretti-Zambra und Miller-Casella vereint zur Anwendung zu bringen“ [23]*).

Fig. 69.



§. 5. **Allgemeine Sätze über die Wärmevertheilung im Meere.** Um nun mit Hülfe der vorstehend beschriebenen Werkzeuge nicht blos gelegentliche Daten, sondern systematisch verwerthbare Zahlwerthe zu erhalten **), nimmt man mit denselben sogenannte Reihentemperaturen [26]. Man senkt das Thermometer ein bis zu einer Tiefe von beiläufig 2700 m, über die hinaus die Temperatur erfahrungsmässig ziemlich konstant bleibt, und lässt nun stets wieder andere hinab und jeweils nach 100 m (50 Faden) zurückgelegter Vertikaldistanz stille stehen, um eine neue Aufzeichnung zu erhalten. Für die Schicht zwischen der Oberfläche und 100 m Tiefe nimmt man eine Anzahl von Bestimmungen in beliebigen Abständen vor. Mit Anwendung dieses einfachen, sich gleichsam von selbst darbietenden

*) Werner Siemens' Gedanke, dass man die verschiedenen Seetemperaturen durch die Verschiedenheit elektrischer Leitungswiderstände ersichtlich machen könne, ist theoretisch unangreifbar, doch hat der „Challenger“ den Nachweis erbracht, dass schon ein schwacher Seegang der praktischen Verwerthung dieses Gedankens hinderlich wird [24].

**) Richtigen Anschauungen darüber, dass nur in verschiedenen Tiefen konsequent gemessene Wärmen einen wissenschaftlichen Werth besässen, begegnet man in einer fast nirgends citirten Abhandlung [25] von Castberg, welche demnach der Vergessenheit entrissen sein möge.

Verfahrens hat man einige generelle und von lokalen Einflüssen unabhängige Theoreme über Wasserwärme gewonnen, welche nach v. Boguslawski's Vorgang (a. a. O.) etwa die folgende Fassung erlauben.

I. Die Temperatur des Meerwassers nimmt gewöhnlich von der Oberfläche zum Boden hin ab, und zwar um so langsamer, je weiter man fortschreitet, am langsamsten von jener 730 bis 1100 m tief befindlichen Schicht an, in welcher die Temperatur + 4° beträgt. Die Bodentemperaturen pflegen sich innerhalb der Grenzen + 2° (Tropische Meere) und — 3° (Polargewässer) zu bewegen.

II. Die Temperatur des Meeresbodens und der über ihm liegenden Wasserschicht ist, wenn die Gegend nur mit einem der beiden Polarmeere in freier Verbindung steht, niedriger, als nach der mittleren niedrigsten Wintertemperatur an der Oberfläche erwartet werden müsste.

III. Diese durchgehende Erniedrigung der Boden- und Tiefseetemperatur kann nicht von den polaren Oberflächenströmen herrühren, deutet vielmehr darauf hin, dass die unteren Schichten in einer gegen den Aequator gerichteten progressiven Bewegung begriffen sind.

IV. Aus dem vorigen Satze folgt als Korollar, dass der stille und indische Ocean unter sonst gleichen geographischen Verhältnissen in ihren tieferen Theilen kälter sind, als der Atlantik, weil sie mit dem antarktischen Meere in freiester Kommunikation stehen.

V. Die Bodentemperatur ist am Aequator und unter niedrigen Breiten eine geringere, als sie unter mittleren Breiten auch in sehr grossen Tiefen vorkommt. Ueber die Ursache der diesen unerwarteten Gegensatz zweifellos bedingenden antarktischen Strömung gehen die Meinungen zweier der ersten Sachkenner, Carpenter's und Wyville Thomson's, sehr aus einander [27].

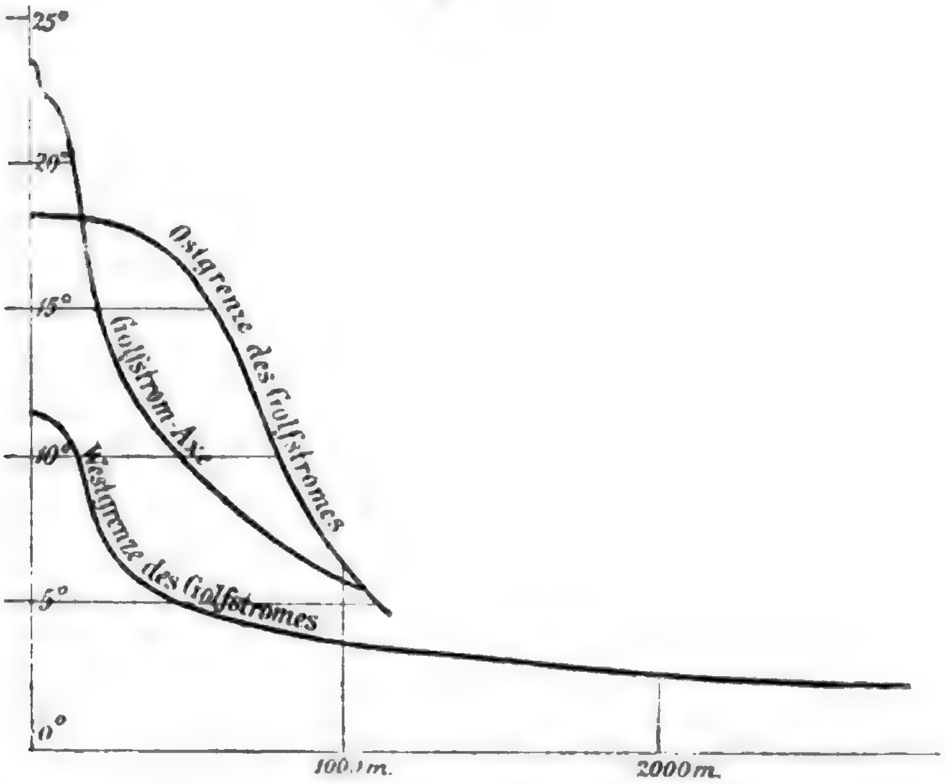
VI. Die Oertlichkeit und namentlich die Verschiedenheit der Bodengestaltung kann es bedingen, dass in den Polarmeeren stellenweise die Temperatur der oberen Schichten eine geringere ist, als diejenige der unteren, dass ferner in sehr abgeschlossenen Meeren, wie es unser romanisches Mittelmeer ist, die Temperaturen von jener Schicht an nach abwärts gleichförmig bleiben, welche mit der den Abschluss bildenden Bodenschwelle gleiches Niveau hat. Eine ähnliche Erscheinung tritt im westlichen Theile der Südsee und im ostindischen Archipel insoferne hervor, dass von einer gewissen Tiefe ab die durch unterseeische Riffe und Bergzüge abgeschlossenen Becken dieselbe Temperatur aufweisen, wie die entsprechend tiefen Gebiete des freien Oceanes. —

Handelt es sich wieder darum, durch ein graphisches Diagramm den Modus der Wärmeaustheilung verständlich zu machen, so kann ganz ebenso ein doppelter Weg eingeschlagen werden, wie wir es oben (§. 4 des vorigen Kapitels) für die Meerestiefen kennen gelernt haben. Man kann entweder alle Punkte im Meere, welche die nämliche Temperatur haben, durch Kurvenzüge verbinden, um die schon in §. 1 erwähnten Meeresisothermen oder, wie Wyville Thomson sich ausdrückt, Isothermobathen zu erhalten*), oder man kann auch

*) Es leuchtet ein, dass ein einziger Blick auf ein Tableau der Wasserisothermen einige Anhaltspunkte über die Vertheilung der Temperatur gewährt. Je enger die Kurven sich an einander drängen, desto grösser ist innerhalb ge-

Wärmeprofile herstellen, indem man auf der Abscissenaxe eines rechtwinkligen Koordinatensystemes die Tiefen abträgt und jeder solchen Abscisse als Ordinate den entsprechenden Temperaturbetrag zugesellt. Dieser Verzeichnung liegt die Annahme zu Grunde, dass die Temperatur eine stetige Funktion der Tiefe sei*), und in der That berechtigen uns die obigen Sätze, eine solche Beziehung als aus der Natur sich ergebend vorauszusetzen. Fig. 70 stellt nach Wild das Temperaturprofil der Golfstromgegend dar.

Fig. 70.



§. 6. **Temperatur-Charakteristik der Oceane.** Den Handbüchern der Meereskunde liegt die Pflicht ob, im Detail nachzuweisen, welche Folgerungen aus unseren allgemeinen Lehrsätzen für die einzelnen Meere dann entfliessen, wenn man den besonderen morphographischen und physikalischen Bedingungen Rechnung trägt, unter welchen dieselben stehen. Soweit sind wir natürlich nicht zu gehen im Stande, doch sollen wenigstens einige Hauptpunkte hervorgehoben werden, auf welche auch v. Boguslawski [28] und das österreichische Werk [29] besonderes Gewicht legen.

a) **Atlantischer Ocean.** Die Sonnenwärme macht sich noch in Tiefen bis zu 160 m bemerklich; von da ab bis zu einer Tiefe von 2750 m ist das Wasser im nördlichen Theile des Oceans wärmer, als

---

ringer Tiefenunterschiede die Temperaturveränderung, oder, wie wir kürzer sagen können, desto grösser ist der thermometrische Gradient.

*) Während die ältere Analysis mit Leibniz und Joh. Bernoulli zwei variable Grössen x und y nur dann als durch das Band der Funktion verbunden anerkannte, wenn sich zwischen beiden eine wirkliche Gleichung ansetzen liess, betrachtet Dirichlet, dem alle neueren Mathematiker folgen, die Veränderliche y dann als eine Funktion von x, wenn innerhalb eines gewissen Intervalles zu jedem Werthe von x auch ein zugehöriger Werth von y existirt. Diess ist aber gerade der Fall, mit welchem wir es oben zu thun hatten.

im südlichen. Nach v. Schleinitz scheinen die unteren Wassertemperaturen von beiden Seiten her gegen 36° Norderbreite zuzunehmen. In dieser Gegend begegnet sich also, wie es scheint, das arktische und das antarktische Bodenwasser. Zwischen 20° und 40° nördlicher Breite ist das Wasser an der Westseite des Nordatlantik oberhalb der Tiefe von 900 m wärmer, als an der Ostseite, eine gleich nachher zu besprechende Stelle ausgenommen, und zwischen denselben Breiten ist das Wasser unterhalb jener Tiefe im Westen kälter, als im Osten. In dem vom 30. und 40. Nordparallel und vom 40. und 70. Meridian eingeschlossenen Trapeze begegnen wir einer aussergewöhnlichen warmen Wassermasse, die aber, ihres Namens Golfstrom-Drift unerachtet, mit jener grossen Meeresströmung wahrscheinlich nichts zu thun hat. Für die Nordsee charakteristisch ist die geringe Mächtigkeit jener Schicht, welche noch von dem Wechsel in der Stärke der Insolation beeinflusst wird, und an deren Unterfläche übergangslos eine sehr niedrige Temperatur eintritt [30]. Vom mittelländischen Meere wurde bereits gesagt, dass es sich unterhalb einer Tiefe von 550 m durch eine sehr gleichförmige Temperatur (von etwa 13°) auszeichnet, während, wie noch hinzuzufügen ist, die Oberflächentemperatur ziemlich genau dem Gange der Lufttemperatur folgt. Die Nebenmeere dieses Meeres verhalten sich ganz ähnlich, nur bringen für den nördlichen Theil des schwarzen Meeres die zahlreich dort einmündenden Flüsse manche Modifikation zuwege [31]. Wie das Mittelmeer, so wird auch das Karaibenmeer durch eine nur 1300 m vom Meeresspiegel abstehende Bodenschwelle vom offenen Ocean abgesperrt und zeigt deshalb ein analoges Verhalten, wie das zuerst genannte. Die gleichmässige Temperatur der tieferen Theile beträgt 4,2°. Dass der aus dem mexikanischen Meerbusen kommende sogenannte „Golfstrom“ eine beträchtliche Erhöhung der Wasser- und Lufttemperaturen bewirkt, ist bekannt und schon im klimatologischen Abschnitte besprochen; zwischen ihn und die nordamerikanische Küste schiebt sich aber eine unter dem Namen Kalter Wall („cold wall“) bekannte Zwischenschicht von sehr niedriger Temperatur ein, auf deren Herkunft im fünften Kapitel einzugehen sein wird; dieselbe bewirkt eine Abkühlung gegen die entsprechenden Tiefen der Golfstrompartie von durchschnittlich 10° [32]. Auf die Einwirkung dieses kalten Walles wurde eben vorhin angespielt. Uebrigens ist auch der Golfstrom nicht etwa ein durchaus gleich temperirtes Gewässer, vielmehr wechseln, wie von den Gelehrten des „Challenger“ konstatirt wurde, zwischen Halifax und den Bermudas-Inseln kalte und warme Streifen mit einander ab.

b) **Stiller Ocean.** Aus den vom „Challenger“ und von der „Tuscarora“ gemessenen Reihentemperaturen kann man schliessen, dass jener Gegensatz zwischen Ost und West, welchen wir als für den Atlantik maassgebend kennen gelernt haben, auch für den Pacifik besteht [33]. Besondere Verhältnisse trifft man natürlich innerhalb und in der Umgebung des mächtigen japanischen Küstenstromes, des „Kurosiwo“. Auch in ihm wechseln kalte und warme Streifen ab, ja nach neueren Feststellungen des Kapitäns v. Reibnitz verschwindet dieser warme Strom stellenweise unter dem kalten arktischen Wasser, welches ihm aus dem Berings-Meere entgegenströmt [34].

In den tropischen Theilen der Südsee, oder sicherlich wenigstens

in deren centralem Inneren, sind die Temperaturen solange niedriger, als im westlichen Theile, bis man zu einer Tiefe von 365 m gelangt, während sie in grösseren Tiefen gleich oder höher werden. Während ferner im Atlantik der Ausgleich zwischen dem arktischen und antarktischen Bodenwasser ziemlich weit nördlich vom Aequator eintritt (s. o.), wird im Pacifik der Berührungspunkt um ebensoviel nach dem Süden verlegt, er liegt zwischen 30° und 36° Süderbreite [35]. Für die zwischen Pacifik und indischen Ocean eingelagerten Mittel- und Randmeere liess sich a priori annehmen, dass in ihnen von einer gewissen Tiefe ab jene gleichmässige Temperaturvertheilung zu Tage treten werde, welche wir als ein Charakteristikum aller abgeschlossenen Becken erkannt haben, und dass dieser Erfahrungssatz sich auch in diesem Falle bewahrheitet, das zeigt uns die durch v. Boguslawski [36] ausgearbeitete Darstellung der Wärmeschichtung in den genannten Meeren*).

c) **Indischer Ocean.** Was wir von diesem Ocean wissen, ist leider nicht viel, im Wesentlichen auch erst durch die Fahrten des „Challenger" und der „Gazelle" gesammelt. Zwischen den Parallelen von 34° und 52° lat. austr. und zwischen dem 18. und 70. Ostmeridian nimmt die Oberflächentemperatur zur Sommerszeit von 23° (im Agulhas-Strom) bis 00° (bei den Macdonald-Inseln) ab. Die Bodentemperaturen zwischen dem Kap und den Kerguelen-Inseln bewegen sich in einer Tiefe von 2900 bis 3500 m in den Grenzen zwischen 1,7° und 0,7°. Oestlich vom 30. Meridian, und namentlich östlich von den Crozet-Inseln, nehmen die Temperaturen aller Tiefen rasch in westöstlicher Richtung ab. Das rothe Meer scheint dem bereits für mehrere Rand- und Mittelmeere als bindend erkannten Gesetze zu unterliegen und in grösseren Tiefen eine konstante Temperatur von 21° zu besitzen, welches die Wintertemperatur der über dem Meere ruhenden Luft ist [38].

d) **Nördliches Eismeer.** Die Temperatur des Oberflächenwassers nimmt von der Küste Norwegens nach allen Seiten hin ab. Schichten besonders kalten Wassers keilen sich zwischen Island und Jan-Mayen, sowie zwischen dieser Insel und Spitzbergen ein. Die Grundtempe-

*) Einen guten Ueberblick über das wechselseitige Verhalten der beiden oben und unten geöffneten — und deshalb auch allein vergleichbaren — Hauptmeere gewährt eine Tabelle v. Boguslawski's [37]:

Isotherme von	Zwischen 40° und 0° nördl. Breite		Zwischen 0° und 40° südl. Breite	
	Nordatlantik Tiefe in m	Nordpacifik Tiefe in m	Südatlantik Tiefe in m	Südpacifik Tiefe in m
25° C.	0— 50	0— 175	0— 75	0— 175
20	0— 275	0— 225	0— 175	0— 250
15	0— 700	40— 350	75— 275	0— 450
10	450— 850	100— 575	200— 550	200— 650
5	700—1650	275—1375	400— 900	725—1200
2,5	2200—3000	1100—2100	1300—2900	1450—2100
1,7	3650—6950	2375—2750	3300—5500	2375—2750

ratur steht in innigem Zusammenhange mit dem Bodenrelief. In den grösseren Tiefen schwankt die Temperatur zwischen 0° und — 1,7°, wogegen die Küsten meistentheils von verhältnissmässig warmem Wasser bespült werden. Von der Oberfläche nimmt die Wassertemperatur gegen den Grund hin im Grossen und Ganzen ab. Strenge genommen gilt diess Alles freilich nur für den Sommer, und im Winter nimmt die Temperatur von 0 m bis zu 180 m Tiefe sogar langsam zu. Nur die Mohn'sche Wärmeaxe, d. h. die durch die Umbiegungspunkte der Meeresisothermen hindurchgelegte Linie, zeichnet sich durch gleichmässige Durchwärmung aller Schichten aus [39]. Für die hochnordischen Meere zwischen Novaja-Semlja und dem neu entdeckten Franz-Josephs-Land glaubt deren gründlichster Kenner, Weyprecht, die folgende Norm aufstellen zu können [40]: „Aus der Vergleichung der Monate geht hervor, dass im Juni die Zufuhr von wärmerem Wasser aufhört; die letzten Reste desselben liegen als unterste Schicht am Grunde und werden im Laufe des Sommers durch kaltes Wasser ganz verdrängt, das sich bis Ende September von der Oberfläche bis zum Boden sehr konstant nahezu auf der gleichen Temperatur erhält. Um diese Zeit beginnt wieder die Zufuhr von wärmerem Wasser . . .“ Die Meere im Norden von Sibirien sind uns seit Nordenskiöld's Fahrt mit der „Vega“ einigermassen bekannter geworden, und wir wissen, dass dort das eiskalte Wasser durchgehends schon in recht geringen Tiefen zum Vorschein kommt, und dass zwischen 30 und 52 m die Temperatur zwischen — 1° und — 2,4° schwankt [41]. Für den nördlichen Smithsund und die noch weiter polwärts sich ausbreitenden Meere scheint eine höhere Temperatur des Bodenwassers den oberflächlicheren Schichten gegenüber konstatirt zu sein, was gewiss nicht der Fall sein würde, wenn, wie Petermann glaubte, der Golfstrom auch in jenen Gewässern noch zu verspüren wäre*).

e) **Südliches Eismeer.** Die wenigen vertrauenswerthen Messungen eines James Ross, Wilkes und Nares sind trotzdem nicht geeignet, zur Stütze für weiter tragende Schlüsse zu dienen, und der „Challenger“ hat nur den Nordsaum dieses Meeres berührt. Doch scheint wenigstens für einige Theile desselben eine bereits bei'm nördlichen Eismeere wahrgenommene Erscheinung sicher, dass nämlich zwischen dem kalten Oberflächen- und dem gleichfalls kalten Bodenwasser eine wärmere Mittelschicht eingebettet liegt [43].

§. 7. **Der Salzgehalt der Meere.** Wie gleich im Eingang dieser Abtheilung bemerkt ward, erkennen wir nur dann eine grössere Wasseransammlung als Meer an, wenn dieses Wasser den schon durch den unangenehmen Geschmack zu konstatirenden Salzgehalt besitzt. Früher meinte man, wie Muncke bemerkt [44], dass die Ursache der Bitterkeit des Seewassers in dem demselben beigemengten Erdharze liege, und noch Graf Marsigli (s. o. §. 7 des ersten Kapitels)

*) Nach Bessels, der sowohl während der Hinfahrt, als während der Heimfahrt eifrig nach dem Golfstrome suchte und deshalb sogar einen ziemlich vollständigen meteorologischen Apparat in das schwanke Rettungsboot mitnahm, offenbart sich der Golfstrom weder in der Melville-Bay, noch auch in der Davis-Strasse an irgend einem Orte, der nördlich des 75. Breitenparalleles gelegen wäre [42].

bekannte sich zu dieser Ansicht. Bergman sammelte alle älteren Arbeiten [45], in welchen das Wasser des Meeres auf seinen Gehalt an Salzen geprüft war, doch befanden sich darunter noch keine solchen, die zu ganz brauchbaren Ergebnissen geführt hätten. Um genaue Analysen vornehmen zu können, musste man natürlich zuerst Wasserproben aus verschiedenen Tiefen des Meeres zur Verfügung haben, und so konstruirte man, um derartige Proben zu erlangen, alle möglichen Wasserschöpfapparate, über deren Einrichtung es nöthig sein wird, Einiges beizubringen. E. Mayer beschreibt mustergültig diejenigen Apparate [46], deren man sich gegenwärtig zu diesem Behufe bedient, doch ist man zu diesen praktischen Vorrichtungen natürlich erst auf Grund langer, aus der Geschichte geschöpfter Erfahrung gelangt.

Hales' „Bucket Sea-gage" [47] war eigentlich nur ein ganz einfacher Eimer mit doppeltem Boden, und zwar konnte das zwischen diese Böden eingedrungene Wasser durch das Zufallen passend angebrachter Klappen an diesem Orte festgehalten werden. Trotz dieses seines primitiven Charakters blieb der Apparat bei den Seefahrern im Gebrauche, bis er durch denjenigen von Marcet [48] verdrängt wurde. Derselbe involvirte insoferne einen Fortschritt gegenüber seinem Vorgänger, als für einen guten und selbst durch grosse Schwankungen nicht zu alterirenden Verschluss der Ventile gesorgt war. Auch Carey-Scoresby's „Marine diver" greift in Wahrheit auf die alte Hales'sche Idee zurück [49], und selbst noch die „Porcupine"-Expedition verfuhr nach diesem einfachen Grundsatze. Heutzutage sind besonders im Gebrauche die Apparate von Buchanan, Sigsbee und Jacobsen-Behrens, doch scheinen uns dieselben sämmtlich zurückzustehen hinter demjenigen von H. A. Meyer, welcher bei der Untersuchung der deutschen Meere glänzend seine Probe bestanden hat [50]. Der Hohlraum eines starken Messingcylinders ist am oberen Rande konisch verengt, am unteren dagegen ebenso erweitert. Durch Kegelventile wird der Hohlraum an jenen konischen Enden hermetisch verschlossen, sobald das gewünschte Wasserquantum aufgenommen ist. Der Cylinder wird mittelst eines Hakens an der Senkleine angehängt, und die Kegelventile stehen offen, solange ersterer durch das Wasser streicht. Sowie der Cylinder den Grund erreicht hat, dreht sich der Haken abwärts, der Cylinder fällt in einer Kulissenführung auf die Kegelerweiterung, und damit ist der Abschluss erzielt. In dieser Form dient das Instrument offenbar nur zur Aufholung eigentlicher Grundwasserproben; man kann es aber auch so aptiren, dass aus einer beliebigen Tiefe das Wasser heraufgebracht werden kann.

Die älteren quantitativen Salzanalysen, wie sie von Baily, Horner, Marcet (s. o.), Lister, Schmidmeyer u. a. gemacht worden sind, wurden von Muncke mit anerkennenswerthester Sorgfalt zusammengestellt und diskutirt [51]. J. Davy's Experimente [52] fanden zu ihrer Zeit vielen Beifall, können aber doch nicht sehr genau gewesen sein, weil aus ihnen ein allenthalben gleicher Salzgehalt der See gefolgert wurde. Wir versagen es uns, auf die späteren Bestimmungen von Gay-Lussac, Lenz, v. Bibra, Webster u. A. hier des Näheren einzugehen, denn dieselben sind ausnahmslos antiquirt durch eine grossartige Arbeit Forchhammer's [53], welche auch

den späteren Bearbeitungen des Gegenstandes durch J. Roth [54] und v. Boguslawski [55] zur Basis gedient hat. Im offenen Meere, entfernt von den Küsten, sind die Schwankungen in der Anordnung der salzigen Bestandtheile hiernach keine sehr grossen, und im Mittel besteht nach Forchhammer die durch nachstehende Tabelle zum Ausdruck gebrachte Anordnung:

	Promille des Oceanwassers	Procent des Totalsalzgehaltes
Chlornatrium (Kochsalz) . . .	26.862	78,32
Chlormagnesium	3.239	9,44
Magnesiasulfat (Bittersalz). . .	2.196	6,40
Kalksulfut (Gips)	1,350	3,94
Chlorkalium	0.582	1,69

Auf 1000 Theile Meerwasser kommen hiernach also im Durchschnitte 34,3 Theile verschiedenen Salzes. Um die zweite Rubrik seiner Tabelle auszufüllen, bediente sich Forchhammer eines Verfahrens, von welchem in §. 9 weiter gesprochen werden soll. Als Maxima des Salzgehaltes sind bislang ermittelt: 3,69 % im atlantischen, 3,68 % im grossen und 3,67 % im indischen Ocean.

Die Frage nach dem Ursprung des Salzes im Meerwasser ist schon vielfach aufgeworfen worden, kann aber noch keineswegs als gelöst gelten. Schon Aristoteles beschäftigt sich mit ihr im zweiten Buche seiner „Meteorologie" und stellt die Ansicht auf, dass die durch die Sonnenstrahlen in ihrer Natur veränderten Ausdünstungen des Meeres nach ihrer Rückkehr zu demselben ihm einen bitteren oder salzigen Geschmack verliehen. Die beliebte Anschauung, dass auf dem Meeresboden grosse Steinsalzlager sich ausbreiteten, wurde von Fichtel [56] unter Hinweis auf die hiefür gar nicht zu verwerthenden Grundproben verworfen*). Die auf Halley zurückzuführende Hypothese, dass der Grund der Salzigkeit des Meeres in dem demselben durch die Flüsse zugeführten Materiale zu suchen sei, hat auf den ersten Anblick Vieles für sich, allein nach der sorgfältigen Untersuchung, welche J. Roth an Flusswasserproben vorgenommen hat, kann man eine so einflussreiche Rolle wenigstens den Flüssen der geologischen Gegenwart nicht wohl zuertheilen [58]. Die Flüsse führen besonders viel kohlensauren Kalk mit sich, und im Meerwasser ist doch (s. o.) von diesem Stoffe nur eine fast verschwindend geringe Menge enthalten; man müsste somit annehmen, dass die kohlen- und schwefelsauren Verbindungen des Kalkes, welche uns in den Korallenbauten, in den Muschelschalen und Coccolithen entgegentreten, den Ueberschuss für sich beansprucht hätten. — Nach Kuntze ist die Versalzung der Meere nichts als eine unmittelbare Folge der Gesteins-

*) Es sei nicht verschwiegen, dass eine modificirte Form dieser Halleyschen Hypothese in v. Boguslawski einen Vertreter findet [57]. Derselbe meint, dass die in allen Sedimentärschichten der Erde von der Silur- bis zur Tertiärzeit vorkommenden Steinsalzlager uns einen indirekten Aufschluss über die Provenienz des Seesalzes ertheilen könnten.

zersetzung [59]. Hören wir endlich noch, wie sich Schleiden die Sache zurechtlegt [60]. Der Kant'schen Kosmogonie (I. Kapitel der I. Abtheilung) zufolge befand sich der Erdkörper dereinst einmal in einem Zustande äusserster Erhitzung, eine Menge der uns jetzt nur in festem Zustande bekannten Stoffe war damals in Gas- oder Dampfform unserer Atmosphäre einverleibt, und letztere war demzufolge weit schwerer, als sie gegenwärtig ist. Natrium und Chlor dürften sicher einen Bestandtheil jener Lufthülle gebildet haben. Das allmählig tropfbarflüssig werdende heisse Wasser stürzte auf die Erde herab, nahm das leicht lösliche Kochsalz in sich auf und bildete so das Salzwasser der vorzeitlichen Meere. Es wäre damit ausgesprochen, dass das Meerwasser von allem Anfange an salzig und nicht, wie die anderen Erklärungsweisen wollen, ursprünglich süss gewesen sei. —

Dass das Meerwasser im Haushalte der Natur eine bedeutsame Stellung einnimmt, darf als eine bekannte Thatsache gelten; Beweise dafür bietet hinlänglich die Monographie von Schrenck [61]. Aber auch für den Menschen schafft die Durchsetzung des Meerwassers mit Salz mancherlei Nutzen, und in manchen Gegenden hat sich die Seesalzgewinnung zu einer regen Industrie entwickelt*). Allerdings ist auch für den Seefahrenden ein nicht unerheblicher Nachtheil mit der an sich so wohlthätigen Eigenschaft verbunden, indem das Meerwasser seines Geschmackes und Geruches halber dem menschlichen Organismus widersteht und zunächst nicht als Trinkwasser verwendet werden kann. Die Fortschritte der Chemie haben diesem Uebelstande jedoch zu steuern erlaubt**). Versuche, welche man im Laboratorium in der Weise anstellte, dass man das Meerwasser zur Verdampfung brachte und den Rückstand analysirte, haben auch über die Zeit- und Reihenfolge Klarheit gebracht, in welcher sich die einzelnen Salzarten und sonstigen Beimengungen aus dem Wasser abscheiden. Zumal die von Uziglio im Jahre 1843 mit Wasser aus dem mittelländischen

*) Genau beschreibt den Process Kayser [62], indem er dabei hauptsächlich die Reiseberichte v. Maltzan's von der Insel Sardinien zu Grunde legt [63]. Man höhlt nahe am Meer eine Anzahl flacher Bassins (Salzgärten oder Meeressalinen, französisch „Marais salants", spanisch „Marinhas") aus und lässt dieselben durch das zur Fluthzeit über seine Ufer tretende Meer mit Wasser füllen. Zur Ebbezeit lässt man die Mutterlauge ab, das Salz bleibt ausgeschieden liegen. Hie und da wird das Meerwasser allerdings auch durch Pumpwerke in die wasserdicht ausgefütterten Becken hineingeleitet. Eine wie hohe nationalökonomische Bedeutung der Seesalzhandel für den Osten Deutschlands im vorigen Jahrhundert besass, darüber belehren uns die schlichten und gewiss wahrheitsgetreuen Erzählungen eines Betheiligten, des pommerischen Schiffers Nettelbeck, der zum Zwecke solcher Handelsgeschäfte die bretagnischen Seehäfen Pollien, Croisic und Olonne besucht hatte [64].

**) Eine dunkle Ahnung von der Möglichkeit, salziges in süsses Wasser umzuwandeln, scheint der alte Plinius gehabt zu haben [65]. Wie Muncke darlegt [66], wollten Leibniz, Marsigli und Leutmann durch Filtrirung zum Ziele kommen, während Lister, Chapman, Poissonnier, Irving u. A. mit Recht der Destillation den Vorzug gaben, durch welche das Meerwasser in Dampf, dieser Dampf aber, von den fremden Bestandtheilen gesäubert, in Trinkwasser übergeführt wird. R. Forster's Bedenken, dass kein Schiff das zu dieser Procedur erforderliche Brennmaterial mit sich führen könne, ward späterhin sehr drastisch durch Hayes widerlegt, der ohne andere Apparate, als einen Theekessel und Flintenlauf, die Mannschaft seiner „United States" mehrere Tage lang mit diesem nothwendigsten aller Bedarfsmittel versorgte [67].

Meere angestellten Abdampfungsversuche haben diese Art unserer Erkenntniss gefördert [68].

Weiter liegt es nahe, zu fragen, ob denn — da uns Bezugsquellen terrestrischer Art für den Salzgehalt des Meeres sogut wie gar nicht zur Kenntniss gekommen sind — nicht auch von der Natur selbst ein Abdampfungsprocess eingeleitet und wenigstens solchen Meeresbecken, die mit dem freien Weltmeere in keiner Verbindung stehen, der Salzgehalt nach und nach entzogen werde, und es hat allerdings den Anschein, dass solche natürliche Salzpfannen vorhanden sind. Peschel bezeichnet als eine solche [69], im Anschluss an v. Bär, den unter dem Namen „Karabugas" bekannten Busen des kaspischen Meeres, in welchem ohne Aufhören durch ein enges und seichtes Eingangsthor das Wasser aus den übrigen Theilen jenes Meeres einströme, ohne seinen Rückweg zu finden; ob aber diese zwar unleugbare Thatsache hinreicht, um den merkwürdigen Umstand zu erklären, dass das kaspische Meer selbst im Süden nur 14 — statt der zu erwartenden 30 bis 40 — Promille fester Bestandtheile enthält, dafür möchte Peschel selbst sich nicht entscheiden. Immerhin verdient auch auf die stets fortschreitende Aussüssung des Mansfelder Salzsee's (westlich von Halle) hingewiesen zu werden, der sich heute von dem in seiner Nähe befindlichen Süsswassersee gar nicht mehr in nennenswerther Weise unterscheidet.

Alle unselbstständigen Meeresräume, als deren Typus wir unser baltisches Meer betrachten können, weichen, wie Ackermann betont [70], von den Oceanen dadurch ab, dass ihr procentischer Salzgehalt denjenigen der offenen Meere entweder überragt oder, wie es hier und überhaupt bei Becken mit zahlreichen Zuflüssen der Fall ist, um ein Namhaftes hinter jenem zurückbleibt. Die Ostsee entbehrt nicht gänzlich des Salzes, doch wird ihr durch die sehr zahlreich in sie sich ergiessenden Ströme mehr süsses Wasser zugeführt, als bei der ziemlich hohen geographischen Breite des Meeres verdunsten kann, und so würde sie längst ganz ausgesüsst oder doch zum mindesten ein Brackwasser geworden sein, wenn nicht durch die drei Eingangspforten (Sund, grosser und kleiner Belt) noch immer ein regelmässiger Zufluss von Salzwasser stattfände. Aus diesem Grunde ist auch der Salzgehalt der einzelnen Meerespartieen ein sehr veränderlicher. G. Karsten bemerkt [71], dass der Gehalt von Osten nach Westen und von der Oberfläche nach der Tiefe wächst; bei Hela beträgt er $^3/_4$ %, bei der Insel Alsen aber 2 %. Die Halbinsel Dars und die Inseln Bornholm und Rügen scheinen sich wie eine Barrière dem Nordseestrom vorzulegen, weshalb der von ihnen gegen Ost und Nordost abgesperrte Meeresraum besonders arm an Salz bleiben muss. Neuerdings haben H. A. Meyer und Karsten die Frage durch eine wichtige Veröffentlichung noch weiter gefördert [72]. Bringt man die jährlichen Oscillationen für die Ostsee, das Kattegat und das Skager Rack in bekannter Weise durch Kurven zur Anschauung, so zeigt sich, dass der Gesammtcharakter der drei Kurven, bei aller Verschiedenheit in der Grösse der Amplituden, derselbe ist. Im März und April macht sich der Einfluss des Eis- und Schneeschmelzens allenthalben erkennbar, nachdem sich den Winter über der Salzgehalt mit geringen Schwankungen auf seiner Höhe erhalten hatte [73]. Für den

östlichen Theil des baltischen Meeres liegt eine 181 Einzelaufzeichnungen umfassende Beobachtungsreihe von v. Sass vor [74]. Das arithmetische Mittel betrug 1,005 625 Procent, 1,007 755 war das Maximum, 1,002 355 das Minimum. Bei Landwinden steigerte sich der Salzgehalt, bei Seewinden nahm er ab, wenigstens soweit das Küstenwasser in Frage kam, auch schien derselbe zu der Stärke des herrschenden Windes im umgekehrten Verhältnisse zu stehen. Die Beziehungen zwischen dem Salzgehalt und den anemometrischen Verhältnissen und dem von diesen letzteren abhängigen Wellen- und Seegang müssen noch zum Objekte besonderer Erforschung gemacht werden*).

Die geographische Vertheilung des Salzgehaltes wird durch gewisse allgemeine Gesetze geregelt, welche v. Boguslawski, wie folgt, formuliren zu können glaubt [76]: I. Der Salzgehalt des Meeres nimmt im Allgemeinen von der offenen See aus nach den Küsten hin ab; II. der Salzgehalt ist am grössten innerhalb der beiden Passatzonen, am kleinsten in der äquatorialen Kalmenregion und nimmt in der Hauptsache von den höheren Breiten bis in die Mitte der Passatzonen zu. Spezielle Folgerungen aus diesen Grundregeln abgeleitet und für sämmtliche Meere deren Salinitätsstufe, wie man sich wohl auch ausdrückt, bestimmt zu haben, ist das grosse Verdienst Buchanan's, des Chemikers der „Challenger“-Expedition [77]. Wir werden die Resultate seiner Arbeit, wie er es ja auch selber gethan, erst im übernächsten Paragraphen, d. h. im Zusammenhange mit den aus den verschiedenen Salinitätsgraden für die Dichtigkeit des Meerwassers zu entnehmenden Daten, behandeln.

§. 8. **Weitere Mittheilungen über die Chemie des Meerwassers.** Im Ganzen sind jetzt nahe an 70 chemische Elemente oder Grundstoffe bekannt; über den wahren Charakter einiger unter ihnen sind die Akten noch nicht geschlossen. Von diesen Stoffen wurden 32 bis jetzt als dem Meerwasser eigenthümliche Stoffe erkannt, doch ist es nicht unmöglich, dass die fortschreitende Scheidekunst noch mehrere andere zu diesen 32 hinzugesellen werde [78]. Die Spektralanalyse, die Untersuchung der Asche der Meerespflanzen und der Aussonderungen der Seethiere und endlich die schon erwähnte Prüfung der Verdampfungs-Rückstände mussten zur Erzielung der angegebenen Resultate ineinandergreifen. Relativ häufig und in grösseren Quantitäten kommen vor: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Chlor, Natrium, Magnesium, Schwefel und Phosphor. Das Brom wurde sogar durch Balard und v. Spécz [79] zuerst aus

*) Einen Beitrag hiezu liefern jedenfalls die fleissigen Beobachtungen von Hautreux [75], durch welche die Abhängigkeit des Salzgehaltes von den Gezeiten ermittelt werden sollte. Es fand sich, dass das Maximum mit den Gezeiten der Syzygien zusammenfiel, wenn also die vom Monde und von der Sonne nach der Erde gezogenen Linien einen flachen Winkel bilden, und dass das Minimum auf die Gezeiten der Quadraturen traf, wenn jene Linien einen rechten Winkel einschliessen. Uebrigens scheinen an jenem Theile der französischen Küste an sich schon bedeutende Unregelmässigkeiten in der Vertheilung des Salzes zu herrschen, wie denn (a. a. O.) auch versichert wird, dass am Ausflusse der Garonne zwischen deren beiden Ufern einmal eine Differenz von fünf bis sechs Dichtigkeitsgraden bestanden habe.

dem Meerwasser dargestellt, und erst später kamen andere Arten der Bereitung dieses Elementes hinzu. Blei, Silber und Kupfer, selbstverständlich nur in geringen Mengen, wurden durch Malaguti und Durocher im Meere nachgewiesen, und wenn es möglich wäre, den Gesammt-Silberbetrag aller Oceane in Barren zu konsolidiren, so würden dieselben doch immer die stattliche Summe von 3,5 Billionen Mark repräsentiren [80]. Im Uebrigen müssen wir bezüglich der festen Stoffe im Meere auf die abschliessende Arbeit des Norwegers Schmelck verweisen [81]; die Menge derselben, soweit sie nicht zu den Salzen gerechnet werden können, beträgt etwa 0,07 Promille. Es kann diese Anzahl keine Verwunderung erregen, eher möchte man sich vielleicht wundern, dass nicht mehr feste Stoffe im Meere vorkommen, wenn man bedenkt, welch' grosse Quanta derselben durch den fallenden Regen jenem einverleibt werden. Durch neue Untersuchungen von Karsten und Flögel, die man im fünften Jahresberichte des naturwissenschaftlichen Vereines für Schleswig-Holstein niedergelegt findet, ist dargethan, dass im Regenwasser stets eine Unzahl fester Kügelchen vorkommt, die zu den Nägeli'schen Sphärokrystallen gehören und hauptsächlich aus kohlensaurem Kalk bestehen. Die vertikale Cirkulation könnte jene Eindringlinge sehr wohl aber auch nach grösseren Tiefen bringen.

Da das Chlor allüberall im Meere reichlich vertreten ist, so spielt bei den Untersuchungen Forchhammer's (s. o.) der sogenannte Chlorkoefficient eine gewisse Rolle. Derselbe wird dadurch erhalten, dass man die Summe der Mengen aller Bestandtheile durch die Menge des Chlorgehaltes dividirt. Der mittlere Chlorkoefficient aller Oceane ist gleich 1,811; am geringsten fällt er aus im stillen Ocean zwischen den Aleuten und den Gesellschafts-Inseln (1,807) und am stärksten (1,814) im atlantischen Ocean zwischen 0° und 30° lat. austr. und im indischen Ocean zwischen Afrika und der Halbinsel von Malakka. Diese Zahl darf mithin nahezu als eine physikalische Konstante gelten.

Das Wasser der Meere enthält in sich auch Gase, theils blos mechanisch absorbirt, theils auch chemisch assimilirt. Ausser Schwefelwasserstoff, der durch die verfaulenden organischen Substanzen geliefert wird, sich aber nur durch schwache Spuren kenntlich macht, sind Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure stets vorhanden [82]. Passende Vorschriften für die quantitative Luftanalyse des Meerwassers gab zuerst Jacobsen in seinen den Berichten der deutschen Meeres-Kommission (s. o.) einverleibten „Beitr. z. Chemie des Meerwassers", und Tornöe, der Chemiker der Mohn'schen Forschungsreise, trat in seine Fussstapfen. Ein Liter Nordseewasser enthielt, nach v. Pettenkofer's Methode untersucht, 50 Kubikcentimeter Kohlensäure, und zwar scheint es nach Tornöe's feinerem Prüfungsverfahren, dass die Karbonate und Bikarbonate in diesen 50 kcm sich der Quantität nach etwa wie 5 : 4 verhalten. Für die Meeresluft aber gelten die folgenden Sätze [83]: I. Sobald dieselbe von der Kohlensäure befreit ist, verhalten sich ihre Sauerstoff- zu ihren Stickstoffbestandtheilen in dem einen extremen Falle, wie 31 : 69, im anderen wie 35 : 65, doch scheint auf den wechselnden Werth dieses Verhältnisses auch die Temperatur einen erheblichen Einfluss auszuüben; II. die Gesammtmenge der Luft ist in der

Tiefe grösser, als an der Oberfläche, und zwar hat ein Luftquantum, welches in einer gewissen Tiefe eine bestimmte Temperatur aufweist, sich vorher an der Oberfläche befunden und daselbst eine fast genau gleiche Temperatur erlangt. Es wird hiemit der für die innere Mechanik des Meeres bedeutsamen Thatsache Ausdruck verliehen, dass die Luft nur durch vertikale Cirkulation von der Oberfläche in grössere Tiefen des Meeres hinab gelangen könne.

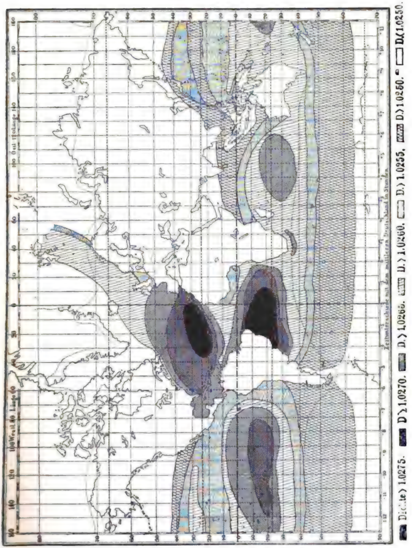
§. 9. **Das spezifische Gewicht des Meeres.** Das „spezifische Gewicht“, welches in der Praxis genau dasselbe besagt, wie es sonst die Wörter „Dichte“ oder „Dichtigkeit“ thun, ist stets eine reine, unbenannte Zahl; dieselbe giebt das Gewichts-Verhältniss an, in welchem ein beliebiges Volumen des betrachteten Stoffes zu dem gleichgrossen Volumen destillirten Wassers im Zustande höchster Koncentration steht. Dass das Meerwasser ein spezifisches Gewicht > 1 besitzen muss, folgt eben aus den ihm beigemengten Quantitäten von Salz und anderen Fremdstoffen, deren Existenz durch die vorhergehenden beiden Paragraphen dargethan wurde. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes einer Flüssigkeit verwendet man Instrumente, welche die Namen Volumeter, Hydrometer und — gewöhnlich — Aräometer, (ἀραιός, dünn) führen und im Wesentlichen alle nach demselben Principe konstruirt sind*). Es ist diess kein anderes als jenes, welches Archimedes in seinem nur in Uebersetzung auf uns gekommenen Werke „De iis, quae in aqua vehuntur“ aufstellte; für unseren Fall handelt es sich also darum, einen leicht kubirbaren Körper, d. h. am besten eine cylindrische Röhre mit Gradeintheilung, in das Seewasser einzutauchen und das Volumen der von ersterem verdrängten Wassermenge zu messen. Der Wasserschöpfapparat hat vorher die Proben geliefert, welche aräometrisch untersucht werden, und zwar empfiehlt es sich bei dieser Gelegenheit, wo Temperaturveränderungen sehr

---

*) Ueber die Erfindungsgeschichte des Aräometers verbreitet eine Abhandlung E. Gerland's [84] ziemliches Licht, zu welcher M. Schmidt [85] einige Nachträge geliefert hat. Die erste unverkennbare Beschreibung giebt der gelehrte Bischof Synesius (IV. Jahrhundert n. Chr.) in der 15. Epistel an seine Freundin Hypatia; dieselbe kannte das Werkzeug offenbar nicht, doch geht auch aus den Worten des Briefstellers keineswegs hervor, dass er etwa als der Erfinder angesehen sein wollte. Ein gewisser Rhemnius schreibt die Erfindung in einem hexametrischen Gedichte dem Archimedes, Andere schreiben sie dem ihrer auch erwähnenden Priscianus zu, doch erfand es wahrscheinlich keiner von beiden, sondern der uns unbekannte Erfinder dürfte eben erst im IV. Jahrhundert gelebt haben; Schmidt setzt ihn in die Zeit zwischen 200 und 400 n. Chr. Jedenfalls leiteten den Erfinder medicinische Beweggründe. Im Mittelalter wusste man, wie von vielem Anderen, so auch nichts mehr vom Aräometer. Tholden's Salzwerkkunde, die im Jahre 1603 herauskam, spricht aber wieder von demselben, wie von einer bekannten Sache, anlässlich der Bestimmung des Koncentrationsgrades von Salzsoole [86], und ganz zum gleichen Zwecke lehrt Daniel Schwenter [87] „ein Instrument zu machen, darmit zu erfahren, wieviel jedes gesaltzenes Wasser Saltz halte“ — es ist diess eine Holzspindel, die in freilich sehr ursprünglich-naiver Weise mit einer Gradeintheilung versehen wird. Seit Deschales und Boyle, welch' letzterer durch das Aräometer falsche von ächten Münzen zu unterscheiden gedachte und dadurch jedenfalls für die Verwendbarkeit desselben zu feinen Messungen das richtige Verständniss zeigte, steht die Aräometrie auf der wissenschaftlichen Tagesordnung.

störend auf das Endresultat einzuwirken vermögen, den gegen die Wärmeeinflüsse bereits isolirten Wasserschöpfer des schwedischen Physikers **Ekman** zu wählen [88].

Fig. 71.



Die Temperatur ist es nämlich, welche in Gemeinschaft mit der **Salinität** die Dichte des Meerwassers maassgebend bestimmt [89]. Der **kubische** Ausdehnungskoefficient des Seewassers ist grösser, als der-

jenige des reinen Wassers und wächst mit steigendem Salzgehalt. Es ist somit nothwendig, das Verhalten des Salzgehaltes zur Wärme einer besonderen Untersuchung zu unterziehen, und es fehlt auch nicht an Bemühungen dieser Art. Gewöhnlich findet man die von Hann [90] entwickelte Formel angeführt, welche das spezifische Gewicht s in folgender Art als eine Funktion des in Procenten ausgedrückten Salzgehaltes p und der Temperatur t ausdrückt:

$$s = 1{,}02946 - 0{,}000006\,(6{,}7 + t)\,t + 0{,}0077\,(p - 3{,}5).$$

Die Konstante 1,02946 bedeutet die Normaldichte, wie sie bei einer Temperatur von 0° und bei einem mittleren Salzgehalt von $3\frac{1}{2}$ % gefunden wird. Für die Abhängigkeit des Volumens V_t von der Temperatur t tragen wir zu S. 352 die folgenden beiden Formeln nach:

$$V_t = 0{,}99746 + 0{,}00004\,t + 0{,}00000\,t^2,$$

$$V_t = 1 + 0{,}000057682\,t + 0{,}0000060715\,t^2 - 0{,}000000032983\,t^3.$$

Diese letztere Formel ist von Thorpe und Rücker mit Hülfe der Dilatometer (s. o. §. 3) von Kopp und Pierre hergeleitet worden, gilt aber zunächst nur für Wasserproben aus dem Nordatlantik [91]. Betreffs der Temperatur, welche für das Dichtigkeitsmaximum des Meerwassers charakteristisch ist, musste das Erforderliche schon früher beigebracht werden.

In unserer Figur 71 ward die Karte nachgebildet, mit welcher Buchanan (s. o.) seine grundlegende Abhandlung über die Vertheilung des Salzgehaltes, resp. über die geographischen Schwankungen des spezifischen Gewichtes des Meerwassers begleitet. Der Umstand, dass es uns nicht möglich war, die Kopie auch in der Farbengebung dem Originale nachzubilden, mag wohl die Uebersichtlichkeit ein wenig beeinträchtigen, doch treten wenigstens die Gegenden sehr stark und sehr schwach ausgeprägter Dichte hinlänglich hervor. Was die ersteren anlangt, so lassen sie sich etwa folgendermassen kennzeichnen: Dem Atlantik eignen zwei Gebiete von der (relativen) Maximaldichte 1,0275; das eine bildet ein geschlossenes Oval, dessen grosse Axe annähernd mit dem Wendekreise des Krebses zusammenfällt, während das andere eine vom 20. Südparallel halbirte und westlich von der brasilianischen Küste begrenzte Halbellipse darstellt. Im Pacifik breitet sich ein geschlossenes Gebiet von der Dichte 1,0270 zwischen dem 100. und 150. Meridian westlicher Länge und zwischen 10° und 25° lat. austr. aus. Die Maximaldichte im indischen Ocean beträgt 1,0265, und zwar liegen die Grenzlinien des betreffenden, gleichfalls ovalen Gebietes ziemlich gleichweit von Madagascar und von der australischen Küste entfernt, während eine zweite schmale Zone sich südwärts vom Kap der guten Hoffnung hinzieht*). Liebscher [93] rückt auch hier das Maximum hinauf bis 1,0275.

*) Inwieweit diese Oertlichkeiten eines relativen Dichtigkeitsmaximums durch die meteorologischen Verhältnisse der auf ihnen ruhenden Luftschichten mit bedingt sind, wie Buchanan andeutet [92], darüber werden spätere Forschungen zu entscheiden haben; „in fact“, meint derselbe, „the saltness of the water at any place becomes ultimately a function of the relative dryness of the atmosphere in the locality.“ Diese relative Trockenheit wäre also das Gegenstück der uns geläufigeren relativen Feuchtigkeit.

[1] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf Alexander v. Humboldt und Carl Ritter, München 1877. S. 738. — [2] Prestwich, Tables of temperatures of the sea at various depths below the surface, taken between 1749 and 1868, Proceed. of the royal society, 1873/74. S. 462 ff. — [3] v. Boguslawski, Handbuch der Oceanographie, 1. Band, Stuttgart 1884. S. 221 ff. — [4] J. J. Wild, Thalassa; an essay on the depth, temperature, and currents of the ocean, London 1877. S. 27 ff. S. 58 ff. S. 88 ff. — [5] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie, 1. Band, Wien 1883. S. 284 ff. — [6] Velten, Ueber die spezifische Wärme des Wassers, Ann. d. Phys. u. Chem., (2.) 21. Band. S. 31 ff. — [7] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 223. — [8] Ibid. S. 236. — [9] Mühry, Ueber die Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869. S. 38 ff. S. 72 ff. — [10] L. Weber, Untersuchungen über die Temperatur der Maximaldichtigkeit für destillirtes Wasser und Meerwasser, Kiel 1877. — [11] Rosetti, Ueber das Dichtigkeitsmaximum und die Ausdehnung des destillirten Wassers aus dem adriatischen Meere und einiger Salzlösungen, Ann. d. Phys. u. Chem., 5. Ergänzungsband. S. 258 ff. — [12] Schiaparelli, Sur le principe de la moyenne arithmétique, Astron. Nachr., (2) N. 87. — [13] Rosetti, Ueber etc., S. 270. — [14] Zöppritz, Das Verhalten des Meeres in der Nähe des Gefrierpunktes und die Statik der Polarmeere, Ann. d. Phys. u. Chem., 5. Ergänzungsband. S. 497 ff. — [15] Ibid. S. 508 ff. — [16] Ibid. S. 536. — [17] Ibid. S. 525 ff. — [18] Girard, Sondages de l'océan pacifique, Bull. de la soc. de géogr. de France, 1874. S. 530. — [19] Handbuch der nautischen Instrumente, Berlin 1882. S. 164 ff. — [20] Neumayer, Ueber ein neues Instrument zur Messung von Tiefseetemperaturen, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1. Band. S. 20 ff. — [21] Michaelis, Tiefseephotometer, Ann. d. Hydrogr. u. mar. Meteor., 11. Band. S. 475 ff. — [22] Negretti-Zambra, On a new deep-sea-thermometer, Proceed. of the royal society, 1873/74. S. 238 ff. — [23] Handbuch etc., S. 107. — [24] Ibid. S. 109. — [25] Castberg, Versuch über die Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen, Gilbert's Ann. d. Phys., 19. Band. S. 349 ff. — [26] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 242 ff. — [27] Ibid. S. 244. — [28] Ibid. S. 250 ff. — [29] Handbuch etc., S. 294 ff. — [30] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 260. — [31] Handbuch etc., S. 315. — [32] v. Boguslawski, Handbuch etc. S. 269. — [33] Ibid. S. 281. — [34] Ibid. S. 285. — [35] Ibid. S. 295. — [36] Ibid. S. 301. — [37] Ibid. S. 311. — [38] Ibid. S. 316. — [39] Handbuch etc. S. 306 ff. — [40] Weyprecht, Die Metamorphosen des Polareises, Wien 1881. S. 352. — [41] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 350. — [42] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 457. S. 486. — [43] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 357 ff. — [44] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 6. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1837. S. 1619. — [45] Bergman, Opuscula physica et chemica, Vol. I., Upsalae 1779. S. 179 ff. — [46] Handbuch etc., S. 93 ff. — [47] Hales, On some trials to keep water and fish sweet with lime-water, Phil. Transact., 1754. S. 213 ff. — [48] Marcet, On the specific gravity and temperature of seawater and account of their saline contents, ibid. 1879. S. 161 ff. — [49] Scoresby, An account of the arctic regions with a history and description of the northern whale-fishery, Vol. I., Edinburgh 1820. S. 185. — [50] Jahresbericht der Kommission zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Meere, I, Berlin 1873. S. 5. — [51] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band, 3. Abtheil., S. 1625 ff. — [52] J. Davy, On the temperature of the ocean and atmosphere, and on the density of sea-water, Phil. Transact., 1817. II. S. 275 ff. — [53] Forchhammer, On the composition of sea-water in the different parts of the ocean, ibid. 1865. S. 203 ff. — [54] J. Roth, Allgemeine und chemische Geologie, 1. Band, Berlin 1879. S. 490 ff. — [55] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 127 ff. — [56] Fichtel, Mineralogische Bemerkungen von den Karpathen, 1. Theil, Wien 1791. S. 195. — [57] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 132. — [58] J. Roth, Allg. u. chem. Geol. S. 494. — [59] Kuntze, Phytogeogenesis, Leipzig 1884. S. 64 ff. — [60] Schleiden-Voges, Das Meer, Leipzig 1885. S. 32 ff. — [61] Schrenck, Ueber die Bedeutung des Salzgehaltes des Seewassers im Haushalte der Natur, St. Petersburg 1876. — [62] Kayser, Physik des Meeres, Paderborn 1873. S. 118 ff. — — [63] v. Maltzan, Reise nach der Insel Sardinien, Leipzig 1869. S. 121 ff. — [64] Haken, Joachim Nettelbeck, Bürger von Colberg, Leipzig 1845. S. 131. — [65] Caji Plinii Secundi Historiae naturalis libri XXXVII, lib. XXXI. cap. 6. — [66] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band, 3. Abtheil., S. 1653 ff. — [67] Hayes, Das offene Polarmeer, deutsch von Martin, Jena 1868. S. 383. — [68] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 133. — [69] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1879. S. 174. — [70] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. S. 148. —

jenige des reinen W…
ist som…
besond…
Bemü… … über die Varia-
entw… … Erdkunde zu Berlin,
folg… … densité de l'eau, faites
ge… … de Bordeaux, (2) tome V.

… S. 134. — [77] Buchanan, On … by the specific gravity of the … 1877. S. 72 ff. — [78] v. Boguslawski, … Etwas über Brom, (Baumgartner's) … S. 424 ff. — [80] Handbuch etc., S. 244. — … Seewasser enthaltenen festen Bestandtheile, Journ. … S. 168 ff. — [82] Handbuch etc., S. 251. — … S. 136 ff. — [84] E. Gerland, Zur Geschichte der … Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 2. Band. S. 150 ff. — … Recension hiezu. Philol. Wochenschrift. 3. Jahrgang. S. 1224 ff. — … Wörterb., 2. Aufl., 1. Band, Leipzig 1825. S. 351. — [86] Schwenter, Deliciae physico-mathematicae. Nürnberg 1626. S. 306. — [88] Handb. … S. 171 ff. — [89] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 142. — … Das spezifische Gewicht des Eismeerwassers, Mittheil. d. k. k. geogr. Ges. zu Wien, 1875. S. 351 ff. — [91] Thorpe-Rücker, Phil Transact., 1877. II. S. 405 ff. — [92] Buchanan, On the distribution etc., S. 86. — [93] Mittheil. d. Ver. f. Erdk. zu Halle, 1882. S. 139 ff.

Kapitel IV.

Die Wellenbewegung des Meeres; Ebbe und Fluth.

§. 1. **Ueber Wellenbewegung im Allgemeinen.** Alle Bewegungen auf der Erde, welche wir wahrnehmen und messender Betrachtung unterstellen können, sind entweder translatorisch oder schwingend (oscillatorisch), indem wir die rotatorische Bewegung als einen besonderen Fall der schwingenden betrachten können. Mit letzterer beschäftigen sich in erster Linie die physikalischen Disciplinen der Akustik und Optik, da der Schall auf eine Vibration der Lufttheilchen, das Licht auf eine Vibration der Aethertheilchen zurückgeführt werden kann. Die allgemeine Wellenlehre begründeten die Gebrüder E. H. und W. Weber durch ihr heute noch als klassisch dastehendes Werk, welches diesen Titel trägt [1]. Wir unterscheiden diesem zufolge die fortschreitende und die stehende Welle; zur Erläuterung des Wesens dieser ersteren dient das gespannte Seil, welches durch einen Vertikalstoss eben in eine entsprechende Bewegung versetzt wird. Mit ihnen hat auch die Physik der Erde sich besonders eingehend zu beschäftigen, da die Wellenbewegung des Wassers im Meere, in Seen und Flüssen ganz den für die Seilwellen bestehenden Gesetzen unterworfen ist, doch werden wir sehr bald sehen, dass auch die andere Art von Wellen von der Geophysik nicht ausser Acht gelassen werden darf. Wenn ein Massentheilchen m eines Körpers durch irgend eine Kraft aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird, so strebt es mit einer Kraft, welche mit wachsendem Abstande selbst wächst und bei

elastischen Körpern diesem Abstande proportional ist, wieder zurück nach dem Gleichgewichtszustande, über den es aber sofort in entgegengesetzter Richtung wieder hinaus geführt wird. Eine solche hin- und hergehende Bewegung heisst **Schwingung** oder **Oscillation**, die Distanz der beiden entferntesten Punkte, welche das Atom m erreicht, ist die **Schwingungs-Amplitude**, der Abstand irgend eines beliebigen Punktes von der Gleichgewichtslage ist die **Elongation**, die zur Vollendung einer Schwingung erforderliche Zeit ist die **Schwingungsdauer**, und den in einem beliebigen Punkte der Bahn erreichten Bewegungszustand nennt man die **Phase**. Es leuchtet ein, dass die mathematischen Ausdrücke, durch welche alle diese Grössen darzustellen sind, **periodische Funktionen von reellem Argumente** sein müssen, d. h. Ausdrücke, welche sich immer selbst wieder reproduciren, sobald das Argument sich um ein Multiplum einer gewissen konstanten Grösse, der sogenannten **Periode**, vergrössert. In der That werden, wie die Analysis zeigt, die Geschwindigkeit v, welche m zur Zeit t besitzt, und die Elongation s, welche ihm im nämlichen Augenblicke zukommt, durch

$$v = \frac{2\pi r}{T} \cdot \sin \frac{2\pi t}{T} \text{ und } s = r \cos \frac{2\pi t}{T}$$

ausgedrückt, wo r eine Konstante, T aber die Schwingungsdauer bedeutet.

Bringt man, etwa durch Hineinwerfen eines Steines, eine ruhende Wasserfläche an einer bestimmten Stelle aus ihrem Gleichgewichtszustande, so bilden sich um den getroffenen Punkt herum sofort koncentrisch kreisförmige Erhöhungen und Vertiefungen, die **Wellenberge** und **Wellenthäler**. Eine **Welle** an sich besteht aus einem Berge und aus einem Thale, und die Distanz zwischen dem Beginne eines Berges und dem Ende des nächstanliegenden Thales wird die **Länge der Welle** genannt. Die Gesammtheit aller von dem nämlichen Mittelpunkte ausgegangenen Wellen ist ein **Wellensystem**. Studirt man die Bewegung in einem solchen Wellensysteme eingehend dadurch, dass man leichte Körperchen in die Flüssigkeit einstreut und sein Augenmerk längere Zeit hindurch mit Ausschliesslichkeit auf eines derselben richtet*), so nimmt man wahr, dass **zwar die Wellen, nicht aber die Wassertheilchen in fortschreitender Bewegung begriffen sind**. Letztere bewegen sich blos auf und nieder, während die Wellen gewissermassen horizontal unter ihnen weggleiten. Allerdings ist die Bewegung eines bestimmten Theilchens nicht gerade eine geradlinige, sondern mehr eine ovale und im Allgemeinen auch nicht geschlossene. An theoretischen Untersuchungen über die Gestalt der Kurve, von deren häufigst vorkommenden Formen Fig. 72 ein Bild giebt, hat es zu keiner Zeit ge-

Fig. 72.



*) Zu diesen Studien eignet sich ganz besonders die eben von den beiden **Weber** konstruirte **Wellenrinne**, ein langer, enger und möglichst tiefer Kasten, in dessen parallele Längs-Seitenwände Glasfenster eingesetzt sind. Dieser Kasten wird mit Wasser gefüllt, das mit Bernsteinpulver versetzt ist; alsdann zieht man an einem Ende durch eine Saugröhre ein kleines Quantum Wasser senkrecht empor, lässt es wieder herabfallen und beobachtet durch die Fenster die entstehenden Oscillationen.

fehlt. Wir verweisen den, der die von Newton, Laplace, Lagrange, Plana, Bidone, Poisson, Cauchy u. A. erzielten und freilich oft mehr das mathematische als das eigentlich physikalische Interesse auf sich ziehenden Resultate kennen lernen will, auf Muncke's treffliche Bearbeitung [2] und verweilen nur kurz bei den Angaben von Flaugergues [3] und Gerstner [4]: auf diese letztere wurde eine eigene Konstruktionsmanier von Dämmen gegründet. „Nach Flaugergues ist der hintere Theil der Welle, von der Spitze des Berges an gerechnet, parabolisch gekrümmt, der vordere dagegen nach einer Kurve, die er eine Begleiterin der Cykloide nennt; nach Gerstner ist die Krümmung von einer Spitze bis zur anderen eine gemeine oder eine geschleifte Cykloide“ [5]*). Darin trifft die Theorie jedenfalls das Richtige, dass hohe Wellen nur in Gewässern von grösserer Tiefe sich bilden können; es verwandeln sich nämlich jener zufolge die cykloidischen Bahnen in unendlicher Tiefe in horizontale Gerade. Ueber das Fortschreiten der Wellen giebt jedoch keine der genannten Theorieen eine vollkommen befriedigende Erklärung.

Wenn eine Wasserwelle an eine feste Wand anstösst, so findet eine Reflexion derselben statt, und in der reflektirten Welle geht Berg oder Thal voran, je nachdem in der einfallenden Berg oder Thal an erster Stelle war; der Vorgang ist somit der umgekehrte, wie bei einer Seilwelle. Auch ist der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich. Nicht minder findet unter den geeigneten Umständen auch eine Brechung und Beugung der Wellen statt (s. den akustischen Nachweis ersterer Erscheinung auf Seite 89 dieses Bandes). Wenn endlich zwei Wasserwellen aneinander stossen, so interferiren sie, d. h. gleichartige Phasen verstärken, ungleichartige vernichten sich gegenseitig. Interferenz ist auch wesentlich bei der in der Randnote

---

*) Für den Fall, dass man es mit einer einzigen periodischen Bewegung zu thun hat, welche nicht in eine begrenzte Anzahl von Bewegungen verschiedener Perioden zerlegt werden kann, ist die Kurvengleichung neuerdings von Boussinesq und St. Venant in anderweiter Form hergeleitet worden [6]. Die Welle als in einer einzigen Ebene liegend vorausgesetzt, wird das rechtwinklige Koordinatensystem so gelegt, dass die Axe der x in dieser Ebene horizontal, die Axe der z also vertikal ist. Die Tiefe der sonst unendlich ausgedehnten Wassermasse sei konstant = H, die halbe Wellenlänge sei = L. Dann soll, wenn x_0, y_0 die Koordinaten eines gewissen Fixpunktes bedeuten, jene Gleichung die folgende Gestalt haben:

$$\frac{(x-x_0)^2 \cdot Sin^2 \frac{\pi H}{L}}{Cos^2 \frac{\pi (H-z_0)}{L}} + \frac{(z-z_0)^2 \cdot Sin^2 \frac{\pi H}{L}}{Sin^2 \frac{\pi (H-z_0)}{L}} = h^2,$$

wo h die Wellenhöhe bezeichnet. Die in *Cursiv* gedruckten Funktionen *Sin* und *Cos* haben für eine gleichseitige Hyperbel von der halben grossen Halbaxe 1 genau denselben Sinn, wie ihn sin und cos für einen Kreis vom Radius 1 besitzen. Die Bahn ist in diesem Falle eine elliptische. — Für eine Woge der angedeuteten Art, welche als ein Ganzes für sich zu betrachten ist, hat die französische Sprache das Wort „houle“. Wohl angeregt durch die Arbeit von St. Venant, hat es Mottez [7] unternommen, die Bewegung in einer solchen isolirten Woge synthetisch zu verfolgen, und es ist ihm gelungen, verschiedene Sätze der Wellenlehre, deren wir oben gedachten, mit elementaren Beweisen zu versehen. Namentlich sucht er die Gründe darzulegen, welche dafür maassgebend sind, dass verhältnissmässig kleine Meereswogen bei der Annäherung an die Küste eine unheilvolle Intensität erhalten können [8].

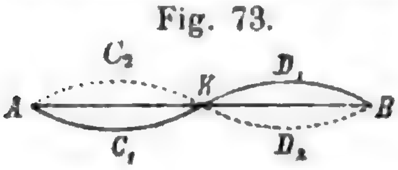
erwähnten Thatsache im Spiele, dass nämlich die Abflachung der Wellenberge in dem Maasse schroffer wird, als die Welle einem Hindernisse sich nähert, und dass in Folge derselben die sogenannte Brandungswoge ein Maass lebendiger Kraft besitzt, wie nicht entfernt dieselbe Woge auf hoher See. Supan hat die hier in Frage kommenden Vorgänge richtig charakterisirt [9]. Durch die Reibung am Meeresgrunde werden die vorne und unten befindlichen Theile der Welle weit mehr in ihrer Bewegung behindert, wie die hinten und oben befindlichen, die Vorderseite wird kürzer und steiler, die Wellenköpfe stürzen nach vorn über und branden, wie der technische Ausdruck lautet, und wenn in diesem Stadium verschiedene Wellen von gleicher Phase auf einander treffen, so können jene ungeheuren Fluthen sich bilden, deren, als eines Schreckens der Küstenbewohner, wir gleich nachher zu gedenken haben werden. Der sogenannte Windstau, d. h. die kumulative Einwirkung eines stetig aus derselben Richtung wehenden steifen Windes, ist dabei ebenfalls nicht gering zu schätzen.

§. 2. **Stehende Wasserwellen oder Seiches.** Sowohl im freien Meere, als auch — und zwar weit entschiedener — bei Binnenseen von grösserer Ausdehnung ereignet es sich nicht selten, dass eine lebhafte Bewegung des Wassers von unten nach oben sich bemerklich macht, ohne dass ein Grund für diese plötzliche Aufwallung leicht nachweisbar wäre. Derartige Bewegungen heissen in der Lokalsprache des Bodensee's Grundwellen, in derjenigen des Genfersee's Seiches, und diese letztere Bezeichnung ist auch die wissenschaftlich herrschende geworden. Vielfach findet man in neueren Werken die Sache so dargestellt, als seien die Seiches erst in neuerer Zeit Gegenstand aufmerksamen Studiums geworden, allein in Wirklichkeit verhält es sich damit ganz anders. Wolf erzählt [10], dass der Genfer Physiker Jallabert bereits um 1740 eifrig „les seiches ou les crûes d'eau subites et passagères qui se forment en été aux deux bouts du lac de Genève" beobachtete und auch zwei Jahre darauf der französischen Akademie einen Aufsatz darüber einreichte, der betitelt war: „Observation sur le flux et reflux du lac de Genève". Später nahm Muncke eine Zusammenstellung und Sichtung aller bezüglichen Materialien vor [11], die uns nicht nach Verdienst bekannt geworden zu sein scheint. Danach hat bereits um 1689 La Hontan jene Seiches der grossen kanadischen Seen beobachtet, auf welche neuerdings wieder Ratzel hinwies; Bergman konstatirte etwas Analoges am Wettersee, und auch vom Ochrida-See wird berichtet (Ami Boué), dass er solche Bewegungen zeige. Ferner sagt Horner in einem unter'm 7. April 1826 an A. Gautier gerichteten Briefe von einem Mechaniker Oeri [12]: „Il a trouvé à Lucerne dans le Prof. Ineichen un homme fort instruit qui accepta avec plaisir la tache que l'on allait lui imposer. Ce monsieur m'a écrit qu'il y avait au lac des 4 cantons aussi le phénomène qu'on appelle Seiches à Genève." Ihr klassischer Tummelplatz blieb jedoch der Leman, und zwar erkannte man allmählig, dass die Seiches am stärksten in der unmittelbaren Umgebung von Genf, am schwächsten nahe bei'm Einfluss der Rhone auftreten. Fatio de Duiller leitete ihr Entstehen her von heftigen Stosswinden, Jallabert (s. o.) von einem plötzlichen Anwachsen der gleich bei Genf einmündenden Arve, Bertrand von elek-

trisch geladenen Wolken, welche attraktiv auf das Wasser des See's wirken sollten, Saussure erachtete als maassgebend den verschieden starken Luftdruck*). Vaucher, ein Genfer Theologe und Naturforscher, nahm zuerst eine mehr zusammenhängende Bearbeitung vor [13] und stellte darin den Satz auf, dass die Seiches des heimathlichen See's von ähnlichen unmotivirt scheinenden Gleichgewichtsstörungen anderer Binnengewässer sich nur graduell durch die Grösse ihrer Amplituden, nicht aber principiell unterschieden**). Sachlich stellte sich Vaucher auf den Standpunkt Saussure's, nur wollte er auch dem bereits im See sich geltend machenden fliessenden Wasser der Rhone eine gewisse Mit-Urheberrolle zutheilen. Wieder nach Anderen, als deren Wortführer ein gewisser — uns sonst unbekannter — Sartorius auftritt, wäre das Rhonewasser der eigentliche Hauptfaktor; dasselbe staue sich an den Unebenheiten des Bodens und löse dadurch die Grundwellen aus [14]. Unerwiesen ist noch, ob eine gewisse Erscheinung in die hier behandelte Kategorie gehört, welche Vaucher am Genfer-, Escher v. d. Linth am Zürich- und Patrin am Baikalsee öfters wahrgenommen zu haben versichern; an Sommerabenden soll man einen lauten, donnerähnlichen Knall hören, worauf nach Umfluss von $^1/_2$ bis $^3/_4$ Minuten sehr grosse Luftblasen aus dem Wasser in die Höhe stiegen.

Einen ausdauernden und glücklichen Monographen hat die Lehre von den Seiches neuerdings in Forel (I. Band, S. 17) gefunden, von dem schon im Jahre 1876 eine bezügliche Erklärung der schweizerischen Naturforscherversammlung vorgelegt ward [15]. Der gewöhnliche Anstoss zur Bildung von Seiches ist hiernach ein in vertikaler Richtung erfolgender Stoss, den das Wasser erhält, und für dessen Erfolgen plötzliche Störungen des atmosphärischen Gleichgewichtes — z. B. Cyklonalwinde — die wichtigste, wo nicht einzige Ursache abzugeben scheinen. Die auf den ersten Anblick gewiss gar nicht abzuweisende Vermuthung, dass auch seismische Gleichgewichtsänderungen Seiches bewirken müssten, hat sich nach Forel [16] nicht bestätigt, die am Limnimeter angestellten Pegelbeobachtungen lassen niemals ein zeitliches Zusammenfallen von Erdbebenstössen mit besonders stark ausgeprägten Seiches hervortreten. Fig. 73 führt uns die Bildung einer Seiche nach Forel vor Augen. AB ist ein Durchschnitt des Seebeckens; in A wird die Wassermasse durch einen Stoss, wie ihn etwa ein heftiger Sturm, plötzlich aus dem Gebirge losbrechend, auszuüben vermag, in die Höhe gehoben resp. gesenkt, und der früher horizontal verlaufende Spiegel zwischen A und dem Halbirungspunkte K von AB verwandelt sich in eine gekrümmte Fläche, deren Profildurchschnitt die Kurve AC_1K ist. Da die Gesammtwassermenge die gleiche geblieben ist, so muss die andere

Fig. 73.



*) Wir erinnern hier nur an das, was im I. Bande (S. 194) anlässlich der Bestimmung des Geoides über den Einfluss der Luftdruckschwankungen auf die augenblickliche Gestaltung der Meeresoberfläche gesagt wurde.

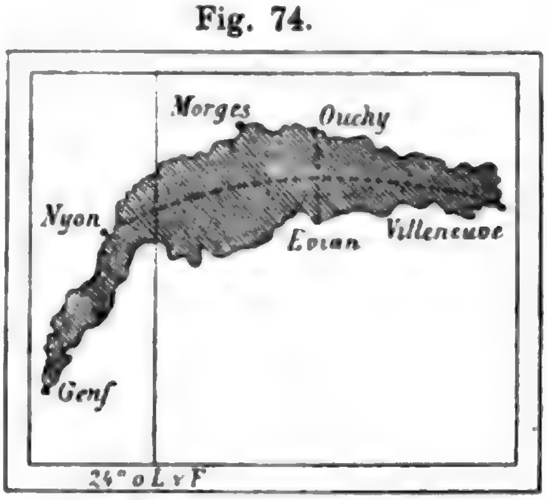
**) Von den Seiches sind nach Vaucher zu unterscheiden die „Fontaines", gekräuselte Stellen im See, welche ringsum von einer ganz glatten Oberfläche umgeben sind und wohl auch durch lokale Luftströmungen zu erklären sein dürften.

Hälfte eine konkave Krümmung aufweisen, wie sie der Durchschnitt KD_1B darstellt. Wenn jener Zustand erreicht ist, wird momentan Stillstand eintreten, alsdann flachen sich die Bäuche AC_1K und BD_1K mehr und mehr in entgegengesetztem Sinne ab, und die Profilkurve AC_1KD_1B geht durch die Gleichgewichtslage hindurch in die (gestrichelte) Kurve AC_2KD_2B über. Die Schwingungsdauer T ist nach Forel gleich $\frac{2l}{\sqrt{hg}}$, wo l die Länge des Durchschnittes*), h die mittlere Tiefe des See's, g die bekannte Beschleunigung der Schwere vorstellt. Der Punkt K ist ein Knotenpunkt, wie solche aus der Theorie der Saiteninstrumente zur Genüge bekannt sind, und die Welle der Seiches ist eine einknotige**). Beobachtungen von Sarasin, bezüglich deren wir uns auf das Referat von Zöppritz [17] berufen müssen, haben uns aber darüber belehrt, dass auch zweiknotige Seiches-Wellen vorkommen, und in diesem Falle eignet den beiden Endpunkten des Durchschnittes AB die nämliche Phase.

Die Frage, ob auch die Gravitation der Himmelskörper bei der Erregung von Seiches mit betheiligt ist, scheint für die Binnenseen verneint werden zu müssen; eine allenfalls in diesem Sinne zu interpretirende Stelle des alten Irländers Dicuil***) ist zu vag gehalten, um zu weiteren Forschungen anzureizen. Um so auffallender ist es, dass der Wasserspiegel in den durch eine subterrane Katastrophe „ersäuften" Kohlenbergwerken des nördlichen Böhmens Schwankungen aufweist, welche zur Zeit der oberen Mondkulmination sich am stärksten offenbaren und auch mit grösserer Annäherung an die Sonne einem Maximum zuzustreben scheinen. Die Thatsache dürfte nach Klönne's vorurtheilsfreier Würdigung der rein faktischen Momente [19] wohl

*) Dieser Durchschnitt kann sowohl ein longitudinaler als ein transversaler sein. Es giebt demnach Seiches von der Beschaffenheit, dass — vgl. das in Fig. 74 mitgetheilte Kärtchen des Genfersee's — die Pegelstände von Genf (resp. Nyon) und Villeneuve abwechselnd zwischen gewissen Extremen schwanken, während diejenigen von Evian und Ouchy ein neutrales Verhalten zeigen, und andererseits kommen auch wieder Seiches vor, bei welchen unsere vorige Strecke A B mit der Verbindungslinie Evian-Ouchy zusammenfällt, wogegen die Knotenpunkte in die Längsaxe des See's zu liegen kommen.

Fig. 74.



**) Wenn eine Saite auf der Violine mit dem Bogen gestrichen wird, so muss, um Töne zu erhalten, der Finger im Allgemeinen stark aufgedrückt werden. Nur zur Erzeugung gewisser Töne, der sogenannten Flageolettöne, reicht schon ein leises Anlegen des Fingers aus; diese Töne bilden sich eben da, wo auf der in Schwingung befindlichen Saite sich Knotenpunkte gebildet haben. Dass in diesen Punkten die Saite wirklich nicht vibrirt, kann man durch Aufsetzen von Papier-Reiterchen augenfällig nachweisen, denn diese bleiben auf der tönenden Saite ruhig sitzen, während sie, irgendwo sonst angebracht, bei'm leisesten Anstreichen unverzüglich abfallen.

***) Die Stelle lautet [18]: „In cosmographia legitur, quod Salinarum lacus in Africa, qui est in Tripolitana provincia et in regione Byzatio, lunari mense crescit et decrescit."

ausser Zweifel stehen, dagegen hat Zöppritz gewiss Recht, wenn er eine Sacherklärung vorläufig mit den Worten ablehnt [20]: „Nach den gegenwärtigen Fluththeorieen müssen diese Erscheinungen geradezu als unerklärlich bezeichnet werden."

An sich erscheinen Seiches-artige Pendelbewegungen des Meeresspiegels unter dem Einflusse der von Sonne und Mond ausgehenden Anziehungskräfte nicht unmöglich. Allbekannt ist eine ganz eigenthümliche Meeresbewegung im Euripus, jener Meerenge, welche die Insel Euböa vom griechischen Festlande trennt. Eine griechische Sage will wissen, dass Aristoteles durch das Unvermögen, ein Gesetz in jener regellosen Bewegung zu erkennen, in Verzweiflung gerathen sei; sicher ist, wie Siber berichtet [21], dass des Stagiriten genialer Schüler Theophrast jenen Strudel auf eine Umkehrung der Strömungen zurückführen wollte, welche jeweils durch die Land- und Seewinde verursacht werden. Neuerdings jedoch ist mit Glück versucht worden [22], Forel's Formel (s. o.) auf die Vorausberechnung der Euripus-Fluth anzuwenden, und eben durch das Gelingen dieses Versuches scheint dargethan zu sein, dass jene Fluth nichts anderes ist, als eine Seiche. Es wäre wohl der Mühe werth, mit diesen neu erworbenen Kenntnissen auch einmal an die Kausalerklärung jener sonderbaren Wirbel heranzutreten, welche als die Fluth der Scylla und Charybdis uns aus dem Alterthum bekannt sind; vielleicht, dass auch hier, wie bei'm Euripus, die Theorie der Seiches zu einem besseren Verständnisse verhelfen würde, als es uns zur Zeit zu erreichen möglich ist, da noch immer Spallanzani's Angaben uns die besten Anhaltspunkte liefern*). Dass im offenen Mittelmeere wirkliche Seiches auftreten, ist wenigstens gewiss. Ob der von Th. Fischer [24] erörterte sicilianische Marobbio und die Resaca der spanischen Küste (Ann. d. Hydrogr. und marit. Meteor., 4. Jahrgang, S. 161) auch zu den auf die Seiches der Binnenseen zurückzuführenden Bewegungen gehören, ist ungewiss, aber ziemlich wahrscheinlich.

§. 3. **Die Meereswogen unter dem Einflusse des Windes.** Wäre die Richtung des Windes eine in aller Strenge horizontale, so würde

*) Spallanzani's Aufsatz [23] ist jedenfalls schon darum nicht unverdienstlich, weil er eine auf gründlicher Selbstbeobachtung beruhende Lokalbeschreibung der klassischen Oertlichkeiten liefert. Unweit der calabrischen Stadt Scylla steigt der gleichnamige Felsen steil aus der Meerenge von Messina empor; an ihm brechen sich die Wogen mit einem bis in sehr grosse Entfernungen noch vernehmbaren Getöse, wozu die vielen in seinen Fuss hineingewaschenen Höhlungen ihr Theil beitragen. Homer's Schilderung traf damals, als Spallanzani die Gegend bereiste, noch ganz gut zu. Die Charybdis liegt in der Meerenge selbst; sie wird von Homer als ein eigentlicher Strudel geschildert, und dieser Kennzeichnung des Dichters ward von geographischen Schriftstellern der Folgezeit, z. B. von Strabon und von Buffon, unbedingt beigepflichtet. An diesem Orte soll der berühmte Taucher Cola Pesce seinen Tod gefunden haben. Der italienische Naturforscher stellte indessen fest, dass von einem Strudel im richtigen Wortsinne bei der Charybdis keine Rede sein könne, denn wenn ein solcher existirte, so müssten sich Hohlkegel im Wasser mit einer spiraligen Bewegung der Wassertheilchen erkennbar machen, was nicht der Fall ist. Spallanzani behauptet, dass hier blos eine von den Gezeiten des offenen Meeres abhängige und durch die topischen Eigenthümlichkeiten der Meeresstrasse beeinflusste Strömung vorliege; beim Auf- und Untergange des Mondes wechsle diese Strömung ihre Richtung, und in der Zwischenzeit bestehe eine nicht lange andauernde Stille. All' diess wäre mit der Annahme von Seiches wohl vereinbar.

derselbe der Meeresfläche gerade parallel wehen und blos durch die Reibung der untersten bewegten Luftschicht am Wasserspiegel kleinere Wellen erzeugen. Wir wissen aber aus dem sechsten Kapitel der fünften Abtheilung, dass jene Windrichtung zu den allergrössten Seltenheiten gehört. Im Allgemeinen trifft er stets unter einem von Null verschiedenen Winkel auf den Meeresspiegel, und so entstehen jene grossen, ja gigantischen Wellenzüge, in denen wir die resultirende Bewegungsform aus unzähligen und oft räumlich sehr weit auseinanderliegenden Impulsen zu betrachten haben. Man pflegt, wenn solche Wellensysteme sich durch den Ocean verbreiten, zu sagen, derselbe habe einen mehr oder minder grossen Seegang. Auf ihn wirken verschiedene Umstände ein; namentlich wird er dann weit stärker ausfallen, wenn der erzeugende Wind viel Seeraum, d. h. eine weitgestreckte Wasserfläche vor sich hat. Luksch und J. Wolf konstatiren beispielsweise (a. a. O.), dass die Bora trotz ihrer Intensität an der Ostküste des adriatischen Meeres keinen so kräftigen und nachhaltigen Seegang im Gefolge hat, wie der an anemometrisch nachweisbarer Kraft jener nachstehende Scirocco, der sich aber über die ganze Adria hin ausbreiten kann. Auch die Meerestiefe kommt in Betracht, wie wir schon bei der Betrachtung der seismischen Wasserwogen auf Seite 378 des ersten Bandes erfuhren. Der Seegang führt im Besonderen dann den Namen Dünung („swell"), wenn die bewegende Ursache nicht mehr unmittelbar sich bethätigt; dieselbe pflanzt sich oft weit über die Grenzen des eigentlichen Sturmfeldes hinaus fort. Eine recht regelmässige Dünung heisst todte See, während überschlagende See jene Form des Seeganges genannt wird, bei welcher der Wind fortwährend noch verstärkend und befördernd sich äussert*). Komplicirt sich der Seegang durch interferirende Wellenzüge, so ist die Bezeichnung Kreuzsee, verworrene oder wilde See. Unter Umständen steigert sich dieselbe durch das Aneinanderprallen zweier Gegenströmungen zur Kabbelung. „Schreitet der Seegang, welcher an fernen Orten oder in früherer Zeit gebildet wurde, der Luftströmung entgegen, so heisst man ihn Muhr-See. Ist er jedoch speziell vom Lande reflektirt, so heisst er auch Wider-See oder, in der Nähe von Steilküsten und bei besonderer Heftigkeit, Surf" [25]. Um für die Grösse des Seeganges eine vergleichbare Skala zu gewinnen, schlug der internationale Meteorologenkongress folgende Gradation vor:

Bezeichnung	Wellenhöhe in m
0 = Vollkommen glatte See	0
1 = Sehr ruhige See	von 0 bis 1
2 = Ruhige See	„ 1 „ 2
3 = Leicht bewegte See	„ 2 „ 3
4 = Mässig bewegte See	„ 3 „ 4
5 = Ziemlich grobe oder bewegte See . . .	„ 4 „ 5 incl.
6 = Grobe oder unruhige See	„ 6 „ 7 „
7 = Hohe See	„ 8 „ 9 „
8 = Sehr hohe See	„ 10 „ 15 „
9 = Gewaltig schwere (Sturm-)See	„ 16 „ 18 „

*) Der Name rührt daher, dass die sogenannten Wellenköpfe vorne überstürzen und dabei zu energischer Schaumbildung den Anstoss geben. „Weisse

Wegen der individualistischen Kennzeichnung der einzelnen Formen verweisen wir auf die lebhafte und theilweise sogar poetisch gefärbte Beschreibung v. Schweiger-Lerchenfeld's [26]. In neuerer Zeit hat man angefangen, die Schiffe mit Anweisungen zu einer möglichst genauen und für die spätere wissenschaftliche Bearbeitung geeigneten Beobachtung des Seeganges auszurüsten, und namentlich ist der bekannte englische Mathematiker Stokes in diesem Sinne thätig gewesen. Um z. B. die wahre Periode T einer Welle aus der vom Schiffsbord aus beobachteten scheinbaren Periode T_1, aus der Schiffsgeschwindigkeit v und aus dem von der Richtung des Wellenzuges mit der vom Bug des Schiffes eingehaltenen Richtung gebildeten Winkel ϑ zu finden, existirt die Relation

$$T = \frac{T_1}{2} + \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - \frac{2\pi v \cos\vartheta \,.\, T_1}{g}}.$$

Der beobachtende Schiffsoffizier hat somit, da v aus dem Tagebuche ersichtlich ist, nur T_1 und ϑ zu bestimmen; der seine Aufzeichnungen bearbeitende Rechner findet aus ihnen T und nachgerade auch die horizontale Fortpflanzungsgeschwindigkeit V der Welle vermittelst der Gleichung $V = gT : 2\pi$.

Ueber nichts pflegen Laien sich so leicht zu täuschen, als über die Höhe der auf offener See beobachteten Wellen. Schon die obige internationale Skala mag darüber Auskunft ertheilen, dass die „thurmhohen" Wellen, deren die Reiseberichte so häufig erwähnen, meistens in das Reich der Phantasie gehören, während freilich die in ihrer freien Ausbreitung behinderte Brandungswoge sehr ungewöhnliche Dimensionen anzunehmen vermag. Eine Periode von 24 Zeitsekunden, eine Länge von 800 m und eine Höhe von 20 m können nach übereinstimmender Ansicht der Fachmänner als die überhaupt erreichbaren Grenzwerthe für Windwellen angesehen werden; selbst für Sturmwellen sind 6 bis 9ˢ, 70 bis 140 m und 5 bis 7 m resp. die Durchschnittswerthe [27]. Dass in Ausnahmsfällen diese Grenzen wohl auch überschritten werden können, soll natürlich nicht in Abrede gezogen werden. Muncke hat [28] eine Anzahl älterer Zeugnisse über diesen Punkt zusammengebracht. Im Pacifik hat Wilkes Wellenhöhen von 32 m beobachtet. Kurze Wellen scheinen die stärkste Böschung der Wellenflächen darzubieten. Nach Paris sind die mittleren Perioden der Wellen für die verschiedenen Meeresräume durch die folgenden Zahlen (Zeitsekunden) auszudrücken: Passatregion des Atlantik 5,8; Region der westlichen Winde im Atlantik 6,5; indischer Ocean 7,6; chinesische See 6,9; westlicher Theil des Pacifik 8,2. Die Windstärke scheint nach den Entwickelungen von Coupvent Desbois so im Zusammenhange mit der Wellenhöhe zu stehen [29], dass die dritte Potenz der Wellenhöhe dem Quadrate der Geschwindigkeit des erzeugenden Windes direkt proportional gesetzt werden kann.

Im freien Meere fürchtet kein tüchtiger Seemann Sturm und Wasserwogen, solange das Fahrzeug dem Steuer gehorcht. Gleich-

---

Köpfe" gelten auch auf grösseren Landseen als Vorboten eines herannahenden Sturmes.

wohl hat man in neuerer Zeit auf ein schon früher bekanntes, aber der Neuzeit fast fremd gewordenes Mittel wieder Bedacht zu nehmen angefangen, durch dessen Anwendung auch ein ganz heftiger Wogengang kalmirt und sogar in partielle Meeresstille soll verwandelt werden können. *)

§. 4. **Sturmfluthen.** Wenn wir dieses Wort in seiner vulgären Bedeutung nehmen wollten, so müssten wir zu den Sturmfluthen auch jene ungewöhnlich hohen Anschwellungen des Wassers rechnen, welche durch eine der Attraktionswirkung besonders günstige Konstellation der flutherzeugenden Gestirne veranlasst werden. Hievon soll jedoch an diesem Orte noch nicht die Rede sein, wir meinen vielmehr nur solche Küstenwellen, die sich allein von der Wirkung des Windes abhängig erweisen. Wir schliessen uns also einfach der kompetenten Ansicht eines v. Sonklar an, dessen Definition diese ist [35]: „Unter Sturmfluthen versteht man jene heftigen Bewegungen des Meeres, welche durch Stürme erzeugt werden, und wobei die Wassermasse der See in Wogen von oft sehr grosser Höhe nach der Richtung des Windes zu treiben scheint.“ Von den Wirkungen, welche solche Fluthen auf das Festland ausüben, an dessen Küste sie ernstem Widerstande begegnen, handelt Kap. II der nächstfolgenden Abtheilung, während hier nur von den physikalischen Entstehungs- und Fortschreitungsbedingungen gesprochen werden soll. Die Schrift

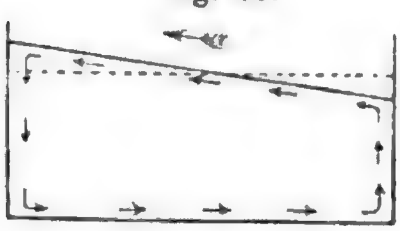
*) Wir haben hier das Oelen der See im Auge. In einem dieses Kunststückchen der nautischen Technik nach allen Seiten hin besprechenden Aufsatze von Virlet d'Aoust [30] wird, freilich ohne genauere Quellenangaben, erzählt, es sei schon bei Aristoteles, Plinius und Plutarch davon die Rede, dass durch Aufgiessen von Oel das unruhigste Meer geglättet werden könne. Nicht minder soll, gemäss einer anderweiten Angabe [31], bei dem Byzantiner Theophylaktos Simokatta der Satz vorkommen: „Ich habe sagen hören, dass die Schiffer, um Wind- und Meeresstille herbeizuführen, Oel in das Meer giessen.“ Wissenschaftliche Versuche stellte in dieser Richtung Franklin an [32]; seine theoretische Auffassung gieng dahin, dass das Oel in einer äusserst dünnen Lage rasch sich über einen beträchtlichen Theil der Wasserfläche ausbreite und dadurch die Reibung zwischen der bewegten Luft und der Flüssigkeit aufhebe. Virlet d'Aoust sagt aus, er habe 1830, als er von Thasos nach Samothrake fuhr, den Versuch mit glücklichem Erfolge ausführen sehen; übrigens verfahre die Natur selbst nach diesem Recept, denn die am Isthmus von Tehuantepec und nahe bei Asow in die betreffenden Meere mündenden Petroleumquellen liessen daselbst gar kein Wellengekräusel aufkommen. Seit einigen Jahren beginnen unsere seemännischen Kreise, durch ausgedehntere Experimentaluntersuchungen Licht in die jedenfalls beachtenswerthe Angelegenheit zu bringen. So wurden in die Hafeneinfahrt zu Peterhead grosse Quantitäten hineingepumpt, und sofort legten sich in eklatanter Weise die Wogen. Natürlich ist damit noch kein Grund zur Hegung sanguinischer Hoffnungen gegeben, vielmehr müssen, ehe das Oelfass zum nothwendigen Inventar eines Seeschiffers gerechnet werden darf, noch weitere Proben abgewartet werden [33]. Nach anderen Berichten hat das Oelen der See übrigens noch einen weiteren, nicht zu unterschätzenden Vortheil für den Seemann; die davon ausgehende Beruhigung erhöht auch nicht unbedeutend die Durchsichtigkeit des Wassers. So gelang es einem Schiffe, welches an der apulischen Küste seine Anker verloren hatte, durch Aufopferung einer einzigen Oelflasche das Meer in so hohem Grade diaphan zu machen, dass die verlorenen in einer Tiefe von etwa 20 m sammt den an ihnen hängenden Ketten wieder deutlich sichtbar wurden und durch Taucher heraufgeholt werden konnten [34]. — van der Menssbrughe erklärt (Compt. rend. Vol. XCI. S. 1055 ff.) die vom Oel herrührende Beruhigung zahlenmässig, indem er nachweist, welches Quantum Bewegungsenergie des Wassers auf diese Art in potentielle Energie umgesetzt werde.

v. Sonklar's ignorirt dieselben keineswegs, doch verbreitet sie sich, ebenso wie die Eilker'sche Monographie [36], mit besonderer Vorliebe über die mechanisch-zerstörende und geologische Aktion der Fluthwoge, wogegen diese selbst von Lentz in eingehendster Weise studirt worden ist [37].

Lentz kann insbesondere das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, zuerst recht bestimmt die Thatsache betont zu haben [38], dass die Gesammtheit der Wirkungen des Windes während eines längeren Zeitraumes auch dann nicht zu einem Endzustande völliger Ausgleichung gelangen kann, wenn das Wehen des Windes kein besonders energisches ist, sondern dass die vorherrschende Richtung des Windes an einem Orte sich in der für diesen Ort berechneten Durchschnittshöhe des Wasserstandes deutlich abspiegeln muss. Wenn der Ostseespiegel bei Pillau und Memel für gewöhnlich um etwa 3 dm höher liegt, als bei Kiel, so ist diese scheinbare Anomalie einzig dem Vorherrschen der westlichen Winde über dem baltischen Meere zuzuschreiben, und in der That zeigt sich, dass die Differenz sich vermindert, sobald der Wind einmal längere Zeit hindurch ausnahmslos aus Osten weht [39]. Dieser sogenannte Windstau ist mithin nicht zu unterschätzen, und wir haben allen Grund, uns über die Theorie zu freuen, welche Zöppritz für denselben entworfen hat [40]. Derselbe hatte in seinem Wohnorte Königsberg i. Pr. gute Gelegenheit, die Stauwirkung der Dauerwinde kennen zu lernen, durch welche es z. B. einmal dahin gebracht ward, dass der Pegel mit einer 1 m in der Sekunde übersteigenden Geschwindigkeit aufwärts strömte.

Um unnöthige Komplikationen zu vermeiden, denke man sich ein überall gleichmässig tiefes Meer durch eine geradlinig verlaufende, vertikale Küste begrenzt und den Wind mit ebenfalls gleicher Stärke gegen diese Küstenwand wehend. Selbst unter diesen doch ganz einfachen Verhältnissen ist die Hydrodynamik trotzdem nicht im Stande, die Bewegung a priori zu bestimmen, doch kann man wenigstens einige Sätze allgemeinen Charakters aufstellen. Einmal lässt sich nämlich behaupten, dass ein Theilchen, welches zu irgend einer Zeit nicht an der Oberfläche des Wassers sich befand, bei stetiger Bewegung niemals an diese gelangen kann, während umgekehrt solche Wassertheilchen, welche sich in irgend einem Momente an der Oberfläche befanden, dieselbe auch nicht wieder verlassen*). Zum zweiten aber ist eine wirklich kontinuirliche Fortbewegung selbst nur des Oberflächenwassers während der Dauer des Windstaues nicht nachgewiesen. Zöppritz schildert den schliesslichen Uebergang vom Stau zur normalen Wellenbewegung folgendermassen (a. a. O.): „Wenn erfahrungsgemäss der Windstau auch bei andauerndem Winde gewisse ziemlich enge Grenzen nicht überschreitet, so kann diess wohl nur daran liegen, dass schon

Fig. 75.



*) Damit ist die Unhaltbarkeit der Carpenter'schen Theorie erwiesen, welche sonst einen ganz plausiblen Eindruck machen würde. Das in Fig. 75 gegebene Diagramm erläutert dieselbe genugsam; der grosse Pfeil versinnlicht die Bewegungsrichtung des Windes, jeder kleine diejenige eines Wassertheilchens.

die Vorwärtsbewegung der oberflächlichsten Wassertheilchen in unstetiger, zusammenhangsloser Weise stattfindet. Bei merklichem Winde erheben sich immer Wellen, auf deren Kämme der Wind stärker einwirkt, als auf ihre tiefer gelegenen Theile. Dadurch finden Ueberschiebungen und Umkippungen, also unstetige Bewegungen statt. Bei solchen lokalen Lösungen des Zusammenhanges können aber leicht zwischen und unter den vorwärts geschobenen Massen rückläufige Ausgleichsströmungen entstehen, so dass also, wenn die Stauhöhe ihre Maximalgrenze erreicht hat, der ganze Vorgang des Verschiebens der Oberflächentheilchen und des ausgleichenden Rückflusses gleicher Wassermengen innerhalb einer sehr dünnen oberflächlichen Schicht in unstetiger Weise stattfände, während die tiefer gelegenen Schichten ganz in Ruhe bleiben."

Am 13. November 1872 ereignete sich an den Küsten der deutschen Meere eine Sturmfluth von so gigantischen Dimensionen, dass deren Charakteristik uns ein besonders typisches Bild von den hiebei eintretenden Verhältnissen geben kann. Wir geben es in treuem Anschluss an die beredte Schilderung von Lentz [41]. Wenn man den ganzen Theil der Ostsee südlich einer von der Südspitze Laaland's nach der livländischen Stadt Windau gezogenen Linie als ein einziges Becken betrachtet, so hat der dasselbe nach seiner grössten Ausdehnung durchstreichende — also ein Maximum von Seeraum vor sich findende — Wind das Wasser von der östlichen Seite nach der westlichen hinübergeweht, und da das Becken eine trichterförmige Höhlung besitzt, so fiel die durch den Stau bewirkte Erhöhung des Seespiegels viel grösser in der westlichen Abtheilung aus, als in der östlichen die entsprechende Senkung. Am Mittage des bewussten Tages fiel das Ostseewasser bei Memel 0,42 m unter seinen mittleren Stand, nachdem es kurz zuvor noch 0,32 m darüber gestanden hatte. Schon westlich von Pillau beginnt die Hebung, und diese steigerte sich mehr und mehr, besonders da, wo durch die vorliegende Insel Rügen das Becken eine Verengerung erfährt. Das Wasser der Trave wurde bis Travemünde hinauf gepeitscht, und am Lübecker Pegel ward eine Höhe von 3,38 m abgelesen, während in dem langen Zeitabstande von 1625 bis 1872 dort keine Sturmfluth höher als bis zu 2 m hinan gereicht hatte. Man kann bei dem Fortschreiten der Fluth durch das baltische Meer deutlich verfolgen, wie ursprünglich die riesige mechanische Kraft des Orkanes das Wasser hebt, und wie allmählig diese Kraft auf die vom Sturme erzeugte Welle übergeht, die sich nach bekannten Gesetzen fortpflanzt und dem Stevenson'schen Erfahrungssatze gemäss*) sich immer höher und höher aufthürmt. Colding bestätigt diesen Schluss.

§. 5. **Beschreibung des Gezeitenphänomenes.** Es ist nunmehr an der Zeit, jene Wellenbewegungen zu verlassen, deren Ursachen an-

*) Dieser Satz ward von seinem Entdecker in einem uns unbekannt gebliebenen Werke über den Bau von Leuchtthürmen gelegentlich ausgesprochen und hat nach der Quelle, auf welche wir uns angewiesen sehen [42], den folgenden Inhalt: Die Wellenhöhen nehmen zu, wie die Quadratwurzeln ihrer Entfernungen von der Küste, von welcher sie ausgegangen sind. Ist hiernach die Wellenhöhe in einer Entfernung von 36 km von jener — im obigen Falle der livländischen — Küste gleich a, so ist sie in einer Entfernung von resp. 100, 250 und 400 km = 1,66 a, 2,35 a und 3,33 a.

erkanntermassen terrestrischer Natur sind, und uns denjenigen zuzuwenden, welche durch das Spiel kosmischer Faktoren regulirt werden. Diess sind die Gezeiten des Meeres, die sich aus einer Ebbe und einer Fluth zusammensetzen*) und in regelmässiger Aufeinanderfolge an den Küsten der Oceane wahrzunehmen sind. Die verschiedenen Anschauungen, welche die Gelehrten verschiedener Zeiten sich über diese durch ihren regelmässigen Charakter ausgezeichnete Erscheinung gebildet hatten, sollen im nächstfolgenden Paragraphen zur Erörterung kommen, aber vorläufig kommt blos der wirkliche Hergang in Frage, wie er ohne jedwede theoretische Voreingenommenheit beobachtet wird. Die beiden Schriften von Lentz [44], vorab die zweite derselben, empfehlen sich Demjenigen, der das Phänomen allseitig kennen lernen will, wiewohl den Arbeiten der allerneuesten Zeit darin nicht durchweg gebührend Rechnung getragen wird.

Das frühere Alterthum hatte wenig Gelegenheit zur Beobachtung der Gezeiten (s. u.), und so war es ein Chaldäer, der von Strabon genannte Seleukos, der sich zuerst wissenschaftlich für die von den Phöniciern an der atlantischen Küste Spaniens gemachten Wahrnehmungen von einem periodischen Sinken und Steigen des Meeres interessirte [45]. Fluthhöhen maass als der Erste der kühne Entdecker Pytheas [46]. Bei den arabischen Schriftstellern begegnen wir zahlreichen, wennschon oft missverständlichen Angaben über Ebbe und Fluth [47]. Im XVI. Jahrhundert finden wir bereits einen erheblichen Fortschritt in der Beobachtung, insoferne man die Modifikationen der Erscheinung durch lokale Besonderheiten zu studiren sich anschickte und, wie die von Cabot für die Polarfahrer seiner Zeit (1553) ausgearbeiteten Anweisungen darthun, für verschiedene Hafenplätze den Termin des Eintreffens einer bestimmten Tide tabellarisch fixirte [48]. Auf diese Art gelangte man allgemach zu einer Summe von Thatsachen, deren Quintessenz nachstehend gezogen wird. Das Niveau des Meeres ist einem periodischen Schwanken unterworfen, es hebt sich und es senkt sich zweimal im Verlaufe eines Tages, und zwar wies sich diese Oscillation bald in der Weise als vom Mondlaufe bestimmt aus, dass der höchste Wasserstand (das Hochwasser) einige Zeit nach der oberen und unteren Kulmination des Mondes eintritt, während der tiefste Stand (das Niedrigwasser) annähernd mit den Auf- und Untergangszeiten dieses Himmelskörpers zusammenfällt. Die Höhe ist für den nämlichen Ort nicht immer die gleiche, schon einmal lokaler Ursachen halber, dann aber auch deshalb, weil neben demjenigen des Mondes auch ein ganz erheblicher Einfluss der Sonne sich geltend macht. Stehen beide Gestirne so, dass ihre Mittelpunkte mit demjenigen der Erde annähernd eine gerade Linie bilden, wie bei'm Neu- und Vollmond, so gestalten sich die Fluthen zu den über den gewöhnlichen Stand des durchschnittlichen Hochwassers hinausreichenden Springfluthen, während der Quadraturenstellung (erstes und letztes

*) Das Wort Tide bringt Lentz wieder zu Ehren, und daran thut er wohl. Es ist dasselbe nämlich kein fremdes, sondern ein gutes niederdeutsches Wort, welches von uns zu den Engländern übergegangen ist. Philologisch ist dieser Umstand bei der Bearbeitung des für die Geschichte der Nautik hochst bemerkenswerthen „Seebuches“ festgestellt worden, welche man Koppmann und den von ihm zu seiner Unterstutzung herangezogenen Gelehrten dankt [43].

Mondviertel) die geringfügigeren Nippfluthen entsprechen. Das sogenannte Mittelwasser eines Ortes muss durch Rechnung oder graphische Interpolation gefunden werden; Blatt 5 und 6 des Lentzschen Werkes lassen dasselbe, sowie auch den regelmässigen Verlauf der Tiden, für das hamburgische Hafenstädtchen Kuxhaven erkennen. Im Interesse der Nautik liegt es natürlich, das Eintreffen jeder Phase der Tiden für alle Seeplätze bestimmen zu können. Man brachte zunächst, wie Whewell rieth, an der Zeit des Meridiandurchganges des Mondes eine dem individuellen Falle angepasste Korrektionsgrösse (Mondfluthintervall) an, die sich natürlich mit jedem Tage änderte. Das arithmetische Mittel aus sämmtlichen Mondfluthintervallen eines Jahres ist die mittlere Hafenzeit. „Unter der wahren Hafenzeit oder der Hafenzeit schlechtweg (‚etablishement‘ oder ‚tide-hour‘, ‚stabilimento‘, ‚établissement‘) versteht man dagegen die wahre, astronomische Ortszeit des ersten Hochwassers nach Voll- und Neumond, unter der Annahme, dass Sonne und Mond in mittlerer Entfernung von der Erde und überdiess im Himmelsäquator stehen“ [49]. Die Hafenzeiten bedeutenderer Küstenorte werden in den Navigationskalendern und Segelanweisungen verzeichnet und durch Berücksichtigung der neuesten Forschungen evident gehalten.

Das Gezeitenphänomen ist hiernach als besonderer Fall in der allgemeinen Theorie der Wasserwellenbewegung mit enthalten, doch scheint es, dass diese gelegentlich allerdings schon von Laplace bemerkte Thatsache in voller Klarheit erst von Bessel erkannt und ausgesprochen worden ist. Wenn er freilich sagt [50]: „indem die Bewegung der Fluth von Osten nach Westen fortgeht, strömt das Wasser des Meeres in derselben Richtung des Meeres um die Erde,“ so ist seine Darstellungsweise keine korrekte, denn wir wissen aus §. 1, dass die Wellenbewegung etwas von der Strömung grundsätzlich und ursächlich Verschiedenes ist. Richtiger müsste man so sagen: Der scheinbaren täglichen Bewegung unseres Trabanten angepasst umkreist eine grosse Wasserwelle die Erdkugel derart, dass, wenn dieselbe gleichmässig mit Wasser bedeckt wäre, für jeden Meridian je zwei um zwölf Stunden von einander abstehende Hoch- und Niedrigwasserstände im Laufe eines Tages sich ergeben würden. —

Voll und ganz kann diese Fluthwelle natürlich nur an den Gestaden der freien Meere in die Erscheinung treten. Die Höhe, bis zu welcher das Wasser ansteigt, ist jedoch sehr verschieden und nicht leicht unter ein präcises geographisches Gesetz zu bringen. Brandes' Notizen [51] zufolge verhalten sich z. B. die Hochwasserstände der Gesellschafts- zu denjenigen der Sandwichs-Inseln wie 1 : 2,5, diejenigen der brasilianischen Küste nahe bei Rio Janeiro zu denjenigen am Ausflusse des Amazonenstromes wie 4 : 15. Durch besonders starkes Anschwellen der Fluthwoge ist der Golf von Bristol bekannt, den eben Pytheas besucht hat; dort kam einem Forscher der im ersten Bande (S. 182) näher ausgeführte Gedanke, aus der Mächtigkeit der in die enge Rinne gewaltsam hineingepressten Wassermasse einen Schluss auf die Dichtigkeit des Erdkörpers zu machen. An der Küste Japan's wurde einmal eine Welle beobachtet, durch deren Oscillation im Verlaufe von 10 Minuten ein auf 2,1 m ansteigender

Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser hergestellt ward, doch ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass dabei weniger lunarer, als vielmehr seismischer Einfluss im Spiele war [52]. Zahlreiche Data über Fluthhöhen enthält ein älteres Navigationshandbuch von Romme [53]. Die Rand- und Nebenmeere zeigen das Fluthphänomen gewöhnlich nicht sehr ausgeprägt, unter Umständen wohl auch verzerrt. Dem mittelländischen Meere sprach man längere Zeit hindurch sogar die Tiden gänzlich ab, allein durch einen im Hafen von Toulon aufgestellten Selbstregistrator ist, wie Vigan berichtet [54], der Nachweis geführt, dass die dortigen Gezeiten, abgesehen von der Grösse der Amplitude, mit denjenigen des Weltmeeres übereinstimmen. In einer Spezialschrift desselben Verfassers begegnen uns verschiedene merkwürdige Angaben über Mittelmeerfluthen [55]. Am stärksten offenbaren sich selbe im Golfe von Gabes an der tunesischen Küste, wo sie — bei Sfax — schon auf 2 m gestiegen sind. In der Adria steigt der Fluthwechsel in dem Maasse, als man nach Norden hin fortschreitet, bei Brindisi beträgt er durchschnittlich 0,19 m, bei Venedig 0,50 bis 0,60 m und bei Triest 0,70 m. Die Hochwasserhöhe bei Venedig hatte Toaldo, wohl zu gross, für die Syzygien auf 3, für die Quadraturen auf 1,5 englische Fuss angesetzt [56]. Die Ostsee ist nach Ackermann bezüglich ihrer Tiden von der Nordsee abhängig, obwohl ihr die Existenz einer selbstständigen Fluthwelle nicht wohl abgesprochen werden kann [57]*). Natürlich wirkt die Anziehungskraft der Himmelskörper ebenso auf kleine, wie auf grosse Wasseransammlungen, und es müsste also, strenge genommen, jeder kleine Binnensee seine Ebbe und Fluth haben, deren Amplitude nur eben in der Vielzahl der Fälle zu klein ist, um sinnenfällig zu werden. Leipoldt theilt mit [60], dass selbst noch der Michigansee ein regelmässiges Steigen und Fallen erkennen lasse, und zwar belaufe sich in Milwaukee die Differenz zwischen Spring- und Nippfluthhöhe auf 1,61 cm, in Chicago sogar auf 3,66 cm. Wir wollen ein Bedenken, das uns angesichts dieser Zahlen aufsteigt, nicht zurückhalten; es besteht darin, ob nicht vielleicht hier eine Verwechselung der Mondfluth mit einer Seiche Seitens der amerikanischen Beobachter vorliegt. Nach dem, was oben in §. 2 über die klar nachgewiesenen Seiches der kanadischen Seen ausgesagt worden, ist unser Zweifel gewiss kein ganz ungerechtfertigter zu nennen. — Zu den verzerrten Flutherscheinungen gehört insbesondere diejenige an der Küste von Tongkin, wo nach Davenport und Knox im Laufe eines Tages nur je eine Fluth und eine Ebbe mit einander abwechseln sollten [61]. Neuere Untersuchungen haben diese Unregelmässigkeit allerdings einigermassen geklärt, doch bieten in der That die Verhältnisse Ostasiens viel des

*) Der ältere v. Schultén freilich spricht auf Grund der Analyse eines umfangreichen Materiales der Ostsee eigentliche Tiden ab [58]; nur der Luftdruck sei daran schuld, dass regelmässige Vermittelungsströmungen zwischen Nord- und Ostsee im einen wie im anderen Sinne stattfänden. Mag auch diese Ansicht zu unseren modernen Ansichten über Meeresströmungen (s. das nächste Kapitel) nicht ganz passen, so ist doch gewiss nicht zu leugnen, dass gerade im baltischen Meere der Luftdruck sich besonders fühlbar macht. Rothe und v. Lorenz führen wenigstens aus [59], dass der bald in den Mälarsee hinein-, bald wieder aus demselben herausgehende stetige Strom sich nur durch Luftdruckschwankungen erklären lasse.

abnormen dar. In dem chinesischen Hafen Wusung z. B. dauert nach genauen Aufschreibungen der neuesten Zeit das Steigen 4, das Fallen aber 8 Stunden [62]. Durch das Sichbegegnen zweier aus verschiedenen Meeren kommender Fluthwellen können Interferenzen entstehen, die sich in der Form gefährlicher Wirbel bemerkbar machen; vielleicht gehören hierher die berüchtigten Meeresstrudel zwischen den Inseln Jura und Skarba an der Westküste und in der Pentlandstrasse an der Nordküste Schottland's, sowie der Mälstrom der Loffoten [63]. Nach Heger ist bei dem letzteren die sechsstündige Periodicität nicht zu verkennen [64], jedoch wird heutzutage seine „schiffszermahlende" Kraft, die ihm den Namen verliehen haben soll, kaum mehr gefürchtet. Man sieht jetzt nicht selten Schiffe den Strudel durchfahren.

Zum Schlusse dieses nur das thatsächliche Material enthaltenden Paragraphen mögen noch einige Worte über Fluthhöhenmessung ihren Platz finden. Man bedient sich jetzt fast ausschliesslich in dieser Absicht der selbstregistrirenden Pegel oder Mareographen. Im Anfange der dreissiger Jahre ward durch Palmer ein solches Instrument in den Docks zu London aufgestellt [65], ihm folgten rasch andere nach, und heute giebt es deren wenigstens in allen grösseren Seehäfen. Die Verfasser des österreichischen Handbuches gehen sowohl auf die Anfertigung der Instrumente [66], als auch auf die Berechnung der Pegelnotate [67] des Näheren ein. Gewöhnlich bildet den wichtigsten Bestandtheil des Mareographen ein Schwimmer, der auf dem Wasser ruht und dessen vertikal-oscillatorische Bewegungen getreulich mitmacht, sei es, dass er sich im Meere oder in einer mit dem Meere kommunicirenden Röhre befindet. Die Bewegung des Schwimmers wird auf einen Schreibstift übertragen, und dieser fährt über einen Papierstreifen hin, der mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch ein Uhrwerk unter ihm weggezogen wird. In dieser Weise ist z. B. Stahlberger's sehr gut funktionirender Apparat für den ungarischen Hafenplatz Fiume hergestellt worden [68]. In Deutschland liefert der Mechaniker Reitz treffliche Selbstregistratoren, denen er eine sehr erhebliche Vervollkommnung in dem Sinne zu ertheilen wusste, dass sie nunmehr die Laufgeschwindigkeit und den Weg beliebiger im Wasser befindlicher Gegenstände — auch der Schiffe — zu messen erlauben und so zu Seewegintegratoren werden. Es knüpfen sich an die Konstruktion dieser Instrumente interessante Probleme rein mathematischer Natur, über welche eine Note von H. Schubert [69] nachgesehen werden kann*).

*) Hierher gehört auch der von Plantamour und Forel im Genfer See angebrachte Limnimeter („limnographe enregistreur"), dessen wir früher bei der Beobachtung der Seiches gedachten. Auch für die Wasserstandsmessung von Flüssen, die früher auf sehr primitive Art — nach Maassgabe der bekannten Nilometer — betrieben zu werden pflegte, brechen sich jene Selbstaufzeichner mehr und mehr die Bahn. So hat neuerdings W. Hess einen Pegel verfertigt [70], der auch bei Ueberschwemmungen ungestört weiter funktionirt. Das Princip ist auch hier dasjenige des selbstthätigen Aufzeichnens von Kurven auf sorgfältig liniirtem Koordinatenpapier, welches jedoch diessmal auf einem sich drehenden Cylindermantel aufgerollt ist. Alle zwölf Stunden wird das Diagramm abgenommen, und eine neue Aufzeichnung beginnt. Eine besondere Art von Wasserstandsmesser musste auch Klönne (s. o. §. 2) bei seinen Messungen in überschwemmten Bergwerken anwenden.

§. 6. **Die Theorieen der Gezeiten in ihrer historischen Entwickelung.** Diese Darstellung will begreitlicherweise keine vollständige sein, sondern nur die wichtigsten der älteren Hypothesen im Zusammenhange aufführen und zeigen, wie allmählig das Wahre, das fast niemals ganz fehlt, vom Falschen gesondert wurde. Im dritten Buche der Geographie giebt Strabon zugleich mit einer ziemlich exakten Beschreibung der Erscheinung auch die Erklärung ab, dass nach Posidonius das Meer in seinem Steigen und Fallen eine dreifache, mit dem Laufe der Gestirne übereinstimmende Periodicität erkennen lasse; dem Plutarch zufolge [71] hatte schon Pytheas die Abhängigkeit des Fluthstandes von den Stellungen des Mondes erkannt. Diese Erkenntniss, ja noch mehr, spricht sich auch aus in den Worten des sonst so kritiklosen Plinius [72]: „Et de aquarum natura complura dicta sunt: sed aestus maris accedere et reciprocare, maxime mirum: pluribus quidem modis, verum causa in sole lunaque.“ Die Orientalen giengen in Folge ihrer Hinneigung von dieser einfachen Lehre wieder vielfach ab, doch äusserte Demitschki [73] ganz gesunde Ansichten über die wasserhebende Kraft der Sonne. Von den mittelalterlichen Gelehrten des Abendlandes brachten Roger Bacon, Robert von Lincoln, Honorius Augustodunensis — nach neueren Ermittelungen kein Franzose aus Autun, sondern ein Deutscher aus Augsburg — ihre Hypothesen zu Markte, unter denen namentlich die, dass das Meer an gasartigen Auftreibungen leide, Beifall gefunden zu haben scheint [74]. Galilei leitete die Gezeiten von der Axendrehung der Erde ab, doch erhält man durch eine Notiz Favaro's [75] den Eindruck, als seien dem grossen Manne seine bezüglichen Behauptungen selbst späterhin ein wenig bedenklich geworden, da er seinen „Dialogo sopra il flusso e riflusso del mare“, der einem an den Kardinal Orsino gerichteten Briefe zufolge schon 1616 fertiggestellt war, der Veröffentlichung durch den Druck entzog. Wir werden aber gleich sehen, dass seine Auffassung ihre Nachahmer fand. Ausnahmsweise hatte jedenfalls Bacon von Verulam einmal Recht, als er gegen Galilei polemisirte, doch war freilich dasjenige, was er an Positivem bot, noch viel weniger probehaltig; ihm lag der Schlüssel der Erklärung in der Konfiguration der Landmassen der alten und neuen Welt [76]. Weit höher steht Stevin's Versuch [77], der seinen Urheber bereits dazu befähigte, für gegebene Erdorte die Hafenzeit mit Rücksicht auf den Mondlauf vorauszubestimmen, obwohl das Wort Anziehung hier noch vermieden wird. Zweifellos die korrekteste Stellung von allen Autoren bis zu seiner Zeit nahm Kepler in der Einleitung zur „Astronomia nova“ ein; er erkannte, wie von Kästner ganz richtig ausgeführt wird [78], die Abhängigkeit der Flutherscheinungen von der vereinten Anziehungskraft aller betheiligten Weltkörper und meinte z. B., wenn die Erde plötzlich aufhörte, attraktiv auf das ihr angehörige Wasser zu wirken, so würde dasselbe sofort dem Monde zueilen; auch weist er für andere geophysikalische Fragen, wie die Entstehung von Sandbänken, die Bedeutung der Tiden nach. Wir glauben auch nicht, dass Kepler, als er später, im vierten Buche der „Harmonice mundi“, die Gezeiten mit den Athemzügen des beseelten Organismus „Erde“ verglich [79], seine frühere Theorie habe verleugnen wollen, durch welche er sich den sicheren Ruhm eines Vorläufers von Newton erworben

hat*). Wallis modificirte die Lehre Galilei's in dem Sinne [81], dass er die Bahn des Erdcentrums mit jener Bahn verglich, welche der gemeinsame Schwerpunkt von Mond und Erde um die Sonne beschreibt, und die Bewegungen des Meerwassers aus der verschiedenen gegenseitigen Lage dieser beiden Kurven herleitete. Die Wirbeltheorie des Cartesius schien insoferne ganz gut verwendbar zur Erklärung des viel umstrittenen Phänomenes, als die zwischen Erde und Mond zusammengepressten Aetherwirbel allerdings das Wasser zum Ausweichen zwingen mussten, nur wäre, sollte man denken, doch zu fragen gewesen, weshalb jenes denn gerade gegen den Mond hin auswich. Der treffliche Varenius scheint trotz dieses Dilemma's diese Wirbel noch immer für das beste Erklärungsmittel gehalten zu haben [82]. Sehr eingehend, aber freilich mit theilweise befangenem Blicke, behandelt der Hydrograph Fournier den Gegenstand [83], sei es, dass er die Dämpfe und Ausdünstungen als Vergleichsobjekt heranzieht, welche sich um den thierischen Körper gebildet haben, sei es, dass er die alte Hypothese Platon's wieder hervorholt, nach welcher das Innere der Erde ungeheure Wassermassen enthalten soll, welche stossweise aus ihr herausdringen, sei es, dass er auf die — ihm selber freilich nicht recht behagende — Theorie des Galilei mit den von Gassendi daran angebrachten Verbesserungen zurückgreift. Gleichwohl ist Peschel's Urtheil über Fournier ein allzu absprechendes [84]; er ist ein Kind seiner wenig exakten Zeit, aber er legt ein redliches Bestreben nach exakter Forschungsweise an den Tag und ist durchaus nicht immer ohne Geist, wie z. B. bei seiner Erklärung der Nadirfluth [85].

Das Erscheinen von Newton's „Principia" schaffte auf diesem Gebiete, wie auf zahllosen anderen, plötzlichen Wandel, und seit seiner Zeit ist die Theorie der Gezeiten ein einfaches, wenn auch wichtiges Kapitel der allgemeinen Lehre vom Gleichgewichte und von der Bewegung der Flüssigkeiten geworden und nimmt an den Fortschritten dieser Disciplinen ihren Antheil. Principiell ist der Standpunkt nicht mehr verrückt worden, den Newton einnahm, als er die Aufgabe stellte [86]: „Man soll die Kraft finden, welche die Sonne auf die Bewegung des Meereswassers ausübt." Im nächsten Paragraphen werden wir Newton's Lösungsweise kennen lernen. Verfeinerungen und Verschärfungen bedurfte aber die neue Theorie noch gar sehr, und so sehen wir denn auch das ganze XVII. Jahrhundert eifrig an der Arbeit, ihr diese zu Theil werden zu lassen. Im Jahre 1740 stellte die Pariser Akademie die mathematische Theorie der Gezeiten als Preisfrage, und drei hervorragende Geometer Maclaurin, Euler und D. Bernoulli, theilten sich in den Preis als Verfechter Newton-scher Grundsätze**). Ihre Arbeiten sind in einem Sammelbande der

*) Galilei war mit den Anschauungen Kepler's, seines intimen wissenschaftlichen Freundes, nicht unbekannt. Doch nennt er diesen Namen nicht bei Gelegenheit seiner Auseinandersetzungen über die Ursache der Gezeiten; freilich kann ihn der mit der Sache Vertraute zwischen den Zeilen lesen. Als Hauptargument gegen die von Kepler behauptete Schwerewirkung des Mondes dient der — angebliche (s. o.) — Mangel der Gezeiten im Mittelmeere [80].

**) Einen Theil des Preises empfieng ein gewisser Antoine Cavalleri, der in seiner Bewerbungsschrift dem damals noch von vielen gelehrten Grössen Frank-

Akademieschriften vereinigt [87]; sämmtlich verfolgen sie den Zweck, die uns bald näher beschäftigende statische Theorie auszubilden und den Wassermantel der Erde geometrisch auf seine Form zu prüfen. Bernoulli's Methode, Gezeitentafeln zu berechnen, hat sich, wie Zöppritz bemerkt [88], bis zu unseren Tagen herab in Ansehen und Geltung zu erhalten gewusst. Laplace vertiefte die Untersuchung dadurch, dass er nicht blos nach der Niveaufläche des Meeres fragte, sondern die hydrodynamischen Grundgleichungen mit Erfolg auf die Vorausbestimmung der Oscillationen des Meeres anwandte und scharf die drei Hauptgattungen dieser Oscillationen auseinanderhielt. Zumal das vierte, theilweise aber auch das dreizehnte Buch der „Mécanique céleste" ist diesen feinen Untersuchungen gewidmet.

Dass noch mancherlei Missverständnisse nebenherliefen und kleine partielle Rückschritte in der Erkenntniss bewirkten, kann nicht befremden. So wollte, wie schon dem Galilei, auch manchen Epigonen es nicht einleuchten, dass kleinere Meere, wenn doch die Anziehung eine allgemeine sei, der Fluth entbehren sollten*). Hube erneuerte die alte Galilei'sche Hypothese, dass eigentlich die Erdrotation die prima causa bei der Entstehung von Ebbe und Fluth sei [90]; wie wichtig diese Durchkreuzung der damals schon konventionell gewordenen Newton'schen Lehre den Zeitgenossen vorgekommen sein muss, erhellt u. a. aus den langathmigen und ernsthaften Entgegnungen von Fulda [91] und J. C. Fischer [92]; doch muss der letztere einräumen, dass Wahres in Hube's Opposition gegen die angebliche Gleichgewichtsfigur des Wassermantels enthalten sei [93]. Auch darin irrte der Kritiker nicht so gänzlich, dass er einen gewissen Einfluss der Erdumdrehung auf den Verlauf von Ebbe und Fluth zulassen wollte, nur dass er diesen Einfluss gewaltig überschätzte**). Wieder eine andere Ausstellung wusste Parrot zu machen [96]: Newton's Theorie sei zur Erklärung der Nadirfluthen nicht ausreichend. Drobisch wies diesen Einwand durch eine detailirte Analyse der Laplace'schen Beweismethode zurück [97]. — Seitdem sind von Physikern und sachkundigen Geographen principielle Bedenken nicht mehr geltend gemacht worden, man müsste denn den Vertretern der sogenannten Naturphilosophie aus dem Anfange dieses Jahrhunderts die Ehre erweisen wollen, ihre Phan-

---

reich's — darunter J. Cassini de Thury und Fontenelle — gebilligten cartesianischen Wirbeltheorie seinen Tribut dargebracht hatte.

*) Sehr bemerkenswerth erscheint, als Gegenstück, die folgende Aeusserung von Kies [89]: „In maribus Euxeno et Caspio non solum ob minimam aut nullam cum Oceano communicationem, sed etiam ob parvitatem horum marium nullus observatur aestus; hinc quid in vase clauso et fluidis reperto contingat, facile quilibet ipse judicabit. Minuitur et fere sistitur aestus in maribus, ubi plures sunt insulae, ut in Moluccis, Philippinis, Antillis etc." Demnach scheint es damals Leute gegeben zu haben, die sich wunderten, dass nicht jeder gefüllte Wassereimer ein periodisches Steigen und Fallen zeigte.

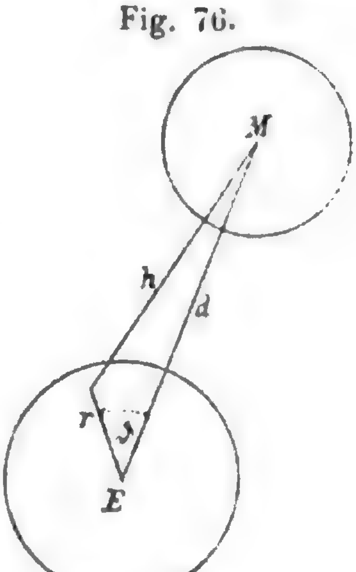
**) Schon in Maclaurin's preisgekrönter Dissertation begegnen wir der These [94]: „Ob motum terrae diversa est ratio aestus maris." Besonders gründlich beschäftigte sich in neuerer Zeit mit dieser Angelegenheit William Thomson [95]. Gewisse auffallende Verschiedenheiten im Verlaufe der Tiden an der englischen und an der gerade gegenüberliegenden französischen Küste des Kanales sollen nach ihm eine zureichende Deutung nur dadurch finden, dass die Wellen (auf der Nordhalbkugel) von links nach rechts gedrängt werden und in diesem Sinne eine abnehmende Amplitude bekommen.

tasmen ernstlicher Beachtung zu würdigen. Systematisch findet man diese Theorie „des athmenden Erdkörpers“ in einer Schrift von Hugi [98] entwickelt.

Sehr viel Aufsehen machte ihrer Zeit eine Arbeit Whewell's [99], durch welche das in so vielen Zweigen der Erdphysik als nutzbar erkannte Princip der graphischen Darstellung auch für die Gezeitenlehre verwerthet werden sollte; schon 1833 war von ihm ein erster „Essay towards a first approximation to a map of cotidal lines“ erschienen, und Lubbock, ein gewiegter Mathematiker, gieng mit Eifer auf diese neue Untersuchungsmethode ein [100]*). Alle Punkte des Meeres, resp. der Meeresküsten, für welche das Hochwasser genau zur nämlichen Zeit eintrat, wurden durch Kurven verbunden, welche eben Whewell Kotidallinien, H. Berghaus aber Isorachieen (ἴσος gleich, ῥαχία Fluth) und Leipoldt [102] Homopleroten (von πληροῦν füllen) zu nennen vorschlugen. Whewell's Zweck war dabei, zu erweisen, dass die grosse Fluthwelle der Erde, von welcher wir oben zusammenfassend sprachen, wirklich eine einheitliche Woge (im Sinne des erwähnten französischen Kunstwortes) sei, im Pacifik entspringe und sich alsdann nach dem indischen und atlantischen Ocean hinüber fortpflanze. Doch nahm der Erfinder dieser Linien später selbst diese aus dem Verlaufe seiner Kurven erschlossene Theorie zurück, wie sie denn auch mit keiner der beiden zur Zeit maassgebenden Auffassungen des Gezeitenphänomenes in Einklang zu bringen ist. Zur Orientirung über das Fortschreiten der Fluthwelle innerhalb eines bestimmten Meeresbeckens verbleibt übrigens den Homopleroten ein gewisser unbestreitbarer Werth.

§. 7. **Die statische Theorie der Flutherscheinungen.** Wir haben uns soeben überzeugt, dass erst durch Laplace der wirklich stattfindenden Bewegung des Wassers auch die erforderliche kalkulatorische Rücksicht gegönnt ward. Bis zu ihm herrschte uneingeschränkt die von Newton begründete statische Theorie der Gezeiten, welche dem natürlichen Vorgange allerdings nicht eigentlich entspricht, gleichwohl aber schon um deswillen nicht entbehrt werden kann, weil die dynamische Theorie nur als eine Reihe an der vorigen angebrachter Korrektionen sich darstellt. Wir geben nunmehr ein Bild dieser ersteren und stützen uns dabei auf W. Thomson [103], von dem auch die jetzt allein übliche Namengebung herrührt.

Fig. 76.



Eine allseitig homogene und gleichmässig tiefe Flüssigkeit lagere sich um einen ellipsoidischen, aber nur wenig von der Kugel abweichenden Kern herum, der in Fig. 76 mit E bezeichnet ist. Ein weit entfernter Körper M

*) Wer die jetzt allerdings antiquirten, früher aber des höchsten Ansehens sich erfreuenden Ansichten der englischen Forscher an der Quelle kennen lernen will, findet alles Nöthige in Germar's deutscher Bearbeitung, die von Nürnberger in dessen bekanntes astronomisches Lexikon aufgenommen worden ist [101].

soll auf Kern und Hülle anziehend wirken, und zwar im Sinne des Newton'schen Gesetzes. Wir legen durch die Schwerpunkte von E und M eine beliebige Ebene und nehmen die Verbindungslinie d der Schwerpunkte als Axe eines in jener Ebene gelegenen Polarkoordinatensystemes (r, ϑ), dessen Pol der Schwerpunkt von E ist. Die Masse beider Körper resp. mit e und m bezeichnend, suchen wir die Gleichung der Flächen gleichen Potentiales mit Bezug auf e und m. Wenn irgend ein Punkt vom Schwerpunkt von M den Abstand h hat, so kann man der Gleichung jener Flächen eine der beiden Formen ertheilen:

$$\frac{e}{r} + \frac{m}{h} = \text{Konst.}, \quad \frac{e}{r} + \frac{m}{(d^2 - 2\,dr\cos\vartheta + r^2)^{\frac{1}{2}}} = \text{Konst.}$$

r : d ist als ein kleiner Bruch zu betrachten; wenn man also $(d^2 - 2dr\cos\vartheta + r^2)^{-\frac{1}{2}}$ auf die Form $d^{-1}.\left(1 - \frac{2r}{d}\cos\vartheta + \frac{r^2}{d^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$ bringt und nach dem binomischen Lehrsatze in eine Reihe entwickelt, so kann man bei dem zweiten Gliede verbleiben; es ist somit

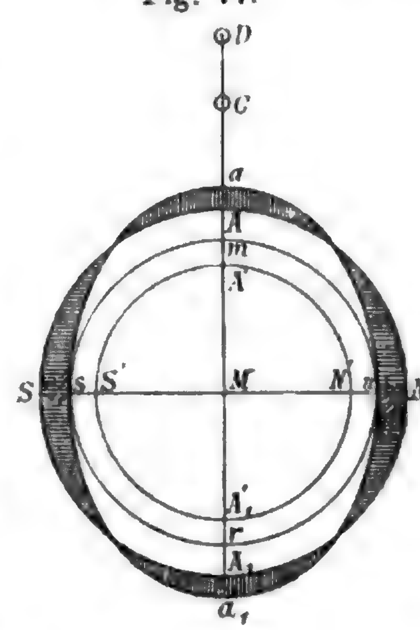
$$\frac{e}{r} + \frac{m}{d}\left(1 + \frac{r}{d}\cos\vartheta\right) = \text{Konst.}$$

unsere neue Gleichung. Bildet man hieraus den Differentialquotienten $dr : d\vartheta$ und vernachlässigt $(r : d)^2$, so wird $dr : d\vartheta = f\,(r, \vartheta)\,\frac{r}{d}$. r : d ist aber unter allen Umständen ein sehr kleiner Bruch, und da ein Faktor des Produktes fast gleich Null ist, so kann auch der Differentialquotient selbst keinen erheblichen Werth erreichen. Damit ist aber gesagt, dass die Flüssigkeit ihre Kugelgestalt nicht verliert, sondern einfach mit deren Beibehaltung um ein gewisses Stück nach dem attrahirenden Körper m hin gezogen wird; ihr Mittelpunkt, der vorher mit demjenigen des Kernkörpers einerlei war, ist jetzt gegen diesen um eine Strecke verschoben, welche sich zum Radius des Kernes verhält, wie die Anziehung des sollicitirenden Körpers auf einen Punkt der Flüssigkeitsoberfläche zur Anziehung des Kernkörpers auf den nämlichen Punkt. Der Werth dieses Verhältnisses ist für Erde und Mond ungefähr gleich 1 : 300000. Nunmehr denken wir uns die eine Hälfte des Körpers M entfernt und in gleicher Entfernung von E, wie früher, aber diametral entgegengesetzt angebracht; diese — eben von Thomson in Aufnahme gebrachte — Hypothese deckt sich mit den realen Verhältnissen, da ja der Mond in 24 Stunden jemals beide Stellungen gegen die Erde einnimmt. Nehmen wir dann noch an, es stehe in jedem Punkte der freien Oberfläche diese selbst auf der Resultante der sämmtlichen auf sie wirkenden Kräfte normal, so haben wir die Gleichgewichtstheorie der Ebbe und Fluth. Nach ihr stellt sich die Fluthhöhe, da ja ausser dem Monde auch die Sonne ihren Einfluss übt, dar als eine Summe von je drei auf den Mond und von je drei auf die Sonne bezüglichen Gliedern. Diese drei Glieder lassen sich folgendermassen trennen [104]. Es existirt I. die halbtägige Mond- und Sonnenfluth, proportional einer Funktion des von einem bestimmten Meridian aus gezählten

Stundenwinkels und mit einer Amplitude, welche proportional dem Quadrate des Cosinus der Deklination des fraglichen Gestirnes — somit sehr langsam — variirt; es existirt II. die tägliche Mond- und Sonnenfluth, deren Periode das doppelte der vorigen ausmacht; es existirt endlich III. die halbmonatliche Mond- und die halbjährige Sonnenfluth. Um für erstere einen sichtbaren Anhalt zu gewinnen, denke man sich auf einer der Erde koncentrischen Kugelfläche vom Radius der Mondbahn die zwei Parallelkreise nördlicher und südlicher Deklination des wirklichen und des (imaginären) Gegenmondes ausgezogen und auf jedem dieser beiden Kreise die halbe Mondmasse vertheilt. Diese Massenkreise oscilliren im Verlaufe von 14 Tagen zwischen dem Aequator und dem Parallel grösster Deklination hin und her, und die dadurch erzeugte Fluth ist eben die vorhin genannte halbmonatliche. Für die Halbjahrfluth der Sonne gilt ganz das Nämliche; indem die homogene Massenvertheilung jetzt zwei zwischen dem Aequator und den Wendezirkeln auf- und abschwebende Parallelkreise betrifft.

In mehr populärer Weise kann die Nothwendigkeit einer zwei Antipodenpunkte der Erde stets gleichzeitig treffenden Hochfluth etwa durch folgende Schlüsse erwiesen werden, aus denen zugleich ein sehr einfacher Werth für die Maximalhöhe folgt.*) AA_1 (Fig. 77) sei der Aequator der mit einem gleichtiefen Meere ganz gleichmässig bedeckten Erdkugel $A'A'_1$, deren Mittelpunkt M ist, N sei der Nord-, S der Südpol. Die beiden flutherzeugenden Körper mögen sich resp. in C und D so befinden, dass beide auf der verlängerten AA_1 liegen. Die in A befindlichen Theilchen erhalten ein Bestreben, sich gegen C und D hin zu bewegen, doch kann nur der allernächste Punkt A dieser Tendenz ganz ungehindert Folge leisten, und so wird derselbe nach a versetzt. Alle in grösserer Nähe befindlichen Wassermolekel strömen auf a zu, weshalb die Oberfläche in der Umgebung der beiden Pole sinken muss; A' hat im Augenblicke Hochwasser, denn statt der normalen Dicke A'A der Wasserbedeckung ist diese Dicke jetzt A'a = A'A + Aa, N und S haben dagegen Niedrigwasser, weil die sonstige normale Dicke N'N und S'S auf N'n und S's = N'N — Nn und = S'S — Ss gefallen ist. Da nun aber doch in Folge der Attraktion anderer Weltkörper die Gesammtwassermasse der Erde nicht geändert wird, so muss der Zenitfluth bei A eine Nadirfluth bei A_1 entsprechen, und während früher die Begrenzungsfläche ANA_1S kugelförmig war, ist sie jetzt die ellipsoidische Fläche ana_1s

Fig. 77.



*) Es war dem Verf. erfreulich zu sehen, dass Luksch und J. Wolf sich zur Ableitung der Wirkung der im Aequator befindlichen Gestirne sich eines Raisonnement's bedienen [105], ganz ähnlich demjenigen, welches er selbst vor langerer Zeit in Vorschlag gebracht hat, um die Nothwendigkeit der Antipodenfluth in einfacherer Weise, als es sonst zu geschehen pflegt, zu begründen [106].

geworden *). Setzt man den Meeresradius $MA = r$, die Strecke $Ma = g$, die Strecken $Mn = Ms = h$, so hat man obigem Satze zufolge die Gleichungen $\frac{4}{3} gh^2\pi = \frac{4}{3} r^3\pi$, $r^3 = gh^2$. Wird ferner noch $Nn = Ss$ durch i bezeichnet, so ist $h = r - i$, somit

$$g = \frac{r^3}{h^2} = \frac{r^3}{r^2 - 2ir + i^2} = r + 2i + \frac{3i^2}{r} + \ldots$$

Da schon das dritte Glied dieser letzteren Reihe ohne Schaden vernachlässigt werden darf, so kann mit ziemlicher Genauigkeit $i = \frac{1}{2}(g - r)$ gesetzt werden, in Worten: Das Einsinken des Meeres an den beiden Polen ist gleich der Hälfte der Differenz, welche man erhält, wenn man vom Ansteigen im Aequator den normalen Radius abzieht — das Umlaufen der flutherzeugenden Gestirne im Aequator vorausgesetzt.

Auf weitere Auseinandersetzungen über die Gleichgewichtstheorie glauben wir hier verzichten zu sollen, da dieselbe, wie schon gesagt, die Verhältnisse der Natur nur mit unvollkommener Treue darstellt. Nach F. Neumann's Berechnung [107] würde Fluth und Ebbe des Mondes höchstens eine Abweichung von 0,314 m, Fluth und Ebbe der Sonne nur die Hälfte davon hervorbringen können, so dass selbst zwischen einer Springfluth und der tiefsten Ebbe blos ein Abstand von etwa 0,9 m sich ergäbe. Um diese schreienden Widersprüche mit der Erfahrung zu beseitigen, begründeten scharfsinnige Analytiker die im nächsten Paragraphen zu erörternden Berechnungsmethoden.

§. 8. **Die dynamische Theorie der Flutherscheinungen und die harmonische Analyse.** Laplace gieng, wie bereits erwähnt, als der Erste von den allgemeinen Grundgleichungen der Hydrodynamik aus**),

---

* Ein wirkliches Ellipsoid ist die Wasserfläche nicht, wenigstens nicht ein solches, das, wie bei der Rechnung angenommen ward, eine mit der Strecke sn nach Lage, Richtung und Grösse übereinstimmende kleine Axe besitzt. Wäre dem nämlich so, so wäre auch $A_1 a_1$ genau gleich Aa, während die Nadirfluth stets um ein Geringes kleiner ist, als die Zenitfluth. Annähernd aber kann die Fläche als Sphäroid gelten (s. auch S. 85 in diesem Bande). Die Kugel smnr ist dem Ellipsoide eingeschrieben.

**) Diese Gleichungen sind von Euler und Lagrange aufgestellt worden und gelten, nachdem hierüber manch' wissenschaftlicher Kampf ausgefochten wurde, ebensosehr als nothwendig, wie als ausreichend für die Bewegung ideell tropfbarer und unzusammendrückbarer Flüssigkeiten (das Wasser ist nach Oersted in kaum nennbarem Grade kompressibel). Für den in der Physik fast überall stattfindenden und von Challis [108] speciell für das Tidenproblem als gültig nachgewiesenen Fall, dass ein Geschwindigkeitspotential V existirt, resp. dass die nach den Koordinatenaxen genommenen Seitenkräfte X, Y, Z sich als partielle Differentialquotienten einer und derselben Funktion V nach x, y, z darstellen lassen, haben [109] die Euler'schen Gleichungen die Form

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial(V-P)}{\partial x}, \quad \frac{dv}{dt} = \frac{\partial(V-P)}{\partial y}, \quad \frac{dw}{dt} = \frac{\partial(V-P)}{\partial z}, \quad P = \int \frac{dp}{\rho},$$

und die Lagrange'schen diese:

$$\frac{d^2x}{dt^2} \cdot \frac{\partial x}{\partial q} + \frac{d^2y}{dt^2} \cdot \frac{\partial y}{\partial q} + \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{\partial z}{\partial q} = \frac{\partial(V-P)}{\partial q} \quad (q = a, b, c).$$

u, v, w sind hier die Geschwindigkeitskomponenten, p ist der Druck im Punkte x, y, z; ρ die dort sich findende Dichte; a, b, c sind gewisse neue und irgendwie zu wählende Koordinaten jenes Punktes, unter t endlich versteht man die Zeit.

integrirte sie unter gewissen Voraussetzungen und zog daraus den Schluss, dass jedes Wassertheilchen in Folge der Gezeiten einer dreifachen Art von Oscillationen unterworfen sei, welche die Rechnung getrennt darzustellen vermag, obwohl uns die Natur nur deren Gesammtwirkung vor Augen führt. In der Sprache der Analysis ist somit die Wasserhöhe eine Summe von einzelnen periodischen Gliedern, deren Periodicitätsmoduln zugleich die Perioden der Bewegungskomponenten von Sonne und Mond sind. Die hiemit inaugurirte dynamische Theorie bildete Airy [110] weiter aus, und W. Thomson gab ihr diejenige Gestalt, unter welcher sie heutzutage als Basis für die Berechnung von Fluthtafeln sich so trefflich bewährt. Aendert man in ihrem Sinne die statische Theorie entsprechend um, so treten an die Stelle unserer obigen drei Fundamentalsätze drei neue oder doch modificirte Theoreme, die Auerbach [111] so kurz und bequem formulirt hat, dass wir das Wesentliche seiner Fassung für sehr mittheilenswerth halten müssen. I. Die halbtägige Fluth hat ihr Maximum nicht genau im Momente der oberen oder unteren Kulmination des sollicitirenden Körpers, sondern etwas früher oder — gewöhnlich — später; dieses Maximum ist eine ziemlich verwickelte Funktion der geographischen Breite und ist in reducirtem Maasse auch an den Polen einer mit Wasser bedeckten Erdkugel vorhanden**). II. Ganz dasselbe gilt von der täglichen Fluth, deren Betrag sich ebenso, wie derjenige der halbtägigen, auch von der geographischen Länge abhängig ausweist. III. Die halbjährigen Sonnen- und die halbtägigen Mondfluthen anlangend, so existirt zwar auch für die dynamische Theorie eine Polhöhe φ_0, bei welcher diese Fluthen verschwinden, während sie für jede andere Polhöhe einen bestimmten Werth $=$ Konst. $(\sin^2\varphi_0 - \sin^2\varphi) =$ Konst. $\sin(\varphi_0 + \varphi)\sin(\varphi_0 - \varphi)$ besitzen, allein φ_0 hat jetzt einen anderen Werth, als früher. Jeweils für die statische und dynamische Fluthentheorie gelten nämlich die Gleichungen

$$\varphi_0 = \text{arc}\sin\sqrt{\frac{1}{3}},\quad \varphi_0 = \text{arc}\sin\sqrt{\frac{1+\delta}{3}};$$

die Zahl δ ist der Mittelwerth des Ausdruckes $(3\sin^2\varphi - 1)$ für den ganzen mit Wasser bedeckten Theil der einen oder anderen Erdhemisphäre**). Für die Nordhalbkugel wird $\delta = -0{,}1584$, $\varphi_0 = 31^\circ\,59'$; für die Südhalbkugel wird $\delta = 0{,}0893$, $\varphi_0 = 37^\circ\,3'$. — Frei-

*) Die Berechnung von Laplace, soweit sie sich auf die halbtägige Fluth bezieht, ist von W. Thomson gründlich revidirt und durch Vergleichung mit der Erfahrung für verschiedene Meerestiefen kontrolirt worden [112].

**) Wäre die Erde überall, oder doch wenigstens für den ganzen Zug eines Parallelkreises, in gleichförmiger Weise mit Wasser bedeckt, so würde δ einem bestimmten Integrale gleich sein; es wäre

$$\delta = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(3\sin^2\varphi - 1)\cos\varphi\, d\varphi}{\pi} = \frac{1}{\pi}\cdot\left(3\cdot\frac{1}{3}\Big|_0^{\frac{\pi}{2}}\sin^3\varphi - \Big|_0^{\frac{\pi}{2}}\sin\varphi\right).$$

Man hätte mithin $\delta = o$ und

$$\varphi_0 = \text{arc}\sin\sqrt{\frac{1}{3}} = 35^\circ\,16'.$$

Wir bemerken, dass die oben erwähnte Durchschnittsberechnung, da eine andere

lich ist mit diesen drei Partialfluthen die Sache noch lange nicht erschöpft, vielmehr kommen, wenn man mit Roberts [113] alle Möglichkeiten erschöpfen will, im Ganzen nicht weniger denn 20 Gezeiten-Komponenten in Betracht, als da sind: die mittlere halbtägige Mondfluth; die erste und zweite „overtide“ hievon; zwei halbtägige Lunarfluthen, welche auf der Ellipticität der Mondbahn, zwei weitere eben solche, welche auf der Evektion*) beruhen, eine Variations-Lunarhalbtagsfluth, die mittlere tägliche Sonnenfluth, die mittlere halbtägige Sonnenfluth; die halbtägige Lunisolarfluth, die tägliche Lunisolarfluth, die tägliche Mond- und die tägliche Sonnenfluth, eine elliptische Lunisolarfluth und eine elliptische Lunarfluth von Tagesperiode, eine zusammengesetzte Halb- und auch vierteltägige Lunisolarfluth, endlich eine halbjährliche und eine jährliche Solarfluth.

Der zahlenmässigen Darstellung all' dieser Einzelfluthen gegenüber würde der gewöhnliche Rechnungsapparat versagen, während Thomson's harmonische Analyse die Schwierigkeiten überwindet. Mit diesem Worte, welches seinen Namen von einer mehr zufälligen Terminologie der Engländer herschreibt, hat es in Kürze folgende Bewandtniss: Die Höhe h des Seespiegels zur Zeit t soll durch eine trigonometrische — Bessel'sche (s. S. 116 dieses Bandes) — Reihe ausgedrückt werden, so dass, unter a und b gewisse Zahlenkoefficienten verstanden,

$$h = a_0 + a_1 \cos n_1 t + a_2 \cos n_2 t + \ldots + b_1 \sin n_1 t + b_2 \sin n_2 t + \ldots$$

werde. Dabei setzen sich die Argumente $n_k t$ zusammen aus den Vielfachen der mittleren Stundenwinkel von Sonne und Mond, aus denen der mittleren Bahnlänge jener Gestirne, aus jenen der mittleren Längen der aufsteigenden Knoten und Perigäen und eventuell noch aus denjenigen anderer Winkel, wie sie sich als einflussreich herausstellen. Nähere Anweisung zum Rechnen nach den Regeln der harmonischen Analyse ertheilen Peters [115] und Luksch-J. Wolf [116]; bei den letzteren wird auch der sogenannten Helmholtz-Tiden Erwähnung gethan, welche demselben Entstehungsgesetze folgen, wie in der Akustik die sogenannten Kombinationstöne [117]**). Den Praktikern hat neuerdings Börgen durch eine dem 12. Jahrgang der „Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteor.“ einverleibte Anweisung diesen Kalkul mundgerecht gemacht. Den eigentlichen Rechnungsprocess abzukürzen, kann man

---

zur Zeit nicht vorliegt, von Auerbach selbst ausgeführt wurde; doch wäre eine möglichst scharfe Mittelwerthbestimmung sehr wohl durchführbar und wünschenswerth.

*) Bei der Bewegung des Mondes ergeben sich gewisse Ungleichheiten, von denen namentlich drei durch ihre Grösse schon vor Entdeckung des Fernrohres den Astronomen nicht entgangen waren. Es sind diess, wenn wir mit R. Wolf [114] die chronologische Ordnung einhalten, die von Hipparch entdeckte Gleichung, die von Ptolemäus entdeckte Evektion und endlich die nach der herkömmlichen Erzählung von Tycho Brahe, nach Sédillot aber bereits von dem Perser Abul Wafâ aufgefundene Variation.

**) Die Kombinationstöne zweier Töne besitzen Schwingungszahlen, welche der algebraischen Summe der Schwingungszahlen der primären Töne entsprechen. Je nach dem Vorzeichen hat man also die bereits von Tartini und Sorge entdeckten, wenn auch nicht erkannten Differenztöne und die zuerst von Helmholtz der Untersuchung unterzogenen Summationstöne [118].

sich der von Thomson's mechanischem Genie in's Leben gerufenen eigenartigen Rechenmaschinen bedienen.*)

Eine grosse Anzahl von Resultaten, welche nach dieser Methode für verschiedene Küstenpunkte der Erde errechnet wurden, hat Thomson in den Jahren 1868, 1872, 1876 und 1878 der britischen Naturforscherversammlung vorgelegt. Diese Rechnung ergab beispielsweise, dass für die europäischen Westküsten und für einen Theil der amerikanischen Ostküste die Eintagsfluthen eine sehr kleine Amplitude haben, und daraus folgt von selbst die grosse Regelmässigkeit, mit welcher die halbtägigen Gezeiten an jenen Ufern sich ausprägen. Bei San Diego in Kalifornien hat nach der harmonischen Analyse die Grösse der Mondtide zu derjenigen der Sonnentide gerade das Verhältniss (21 : 10), wie es die statische Theorie fordern muss; ebendort verzögert sich auch das Eintreten der Springfluth fast gar nicht gegen die theoretisch vorausbestimmte Zeit. Zwei weit aus einander liegende Punkte können in einer bestimmten Fluthkomponente sehr gute Uebereinstimmung zeigen, während sie bezüglich einer anderen wieder sehr weit sich von einander entfernen können; ein bemerkenswerthes Beispiel dieser Art konstatirt Thomson [122] mit den Worten: „The diurnal tide at Liverpool and Freemantle was about the same, but the semidiurnal tide at Liverpool was about two hundred times as great as at Freemantle." Ausser den bisher einzig in Betracht gezogenen astronomischen Faktoren wirken auch noch andere mit, und darunter solche, die, sei es für sich, sei es in Kumulativwirkung, auch durch die feinste Rechnung ihren Strich ziehen können.

§. 9. **Anderweite Untersuchungen über Tiden.** Die Frage nach dem Einflusse der Küstengestaltung auf Grösse und Ankunft der Fluthen ist zuerst von Airy gestellt, von W. Thomson aber mit besonderer Rücksicht auf die Verhältnisse des englischen Kanales gründlich studirt worden [123]. Nähere Angaben über Airy's Kanaltheorie, deren Schwerpunkt eben doch mehr in ihrer schönen mathematischen Durchführung lag, findet man bei Auerbach [124]. Als wesentliche Frucht von Thomson's Arbeit erscheint die Ziehung zweier Grenzlinien im Kanal selbst und in der Nordsee, diesseits und jenseits deren die Gezeiten sich so, wie gegenwärtig, ereignen würden, auch wenn die Verbindungsstrasse gar nicht vorhanden wäre.

Viel zu wenig ist in früheren Zeiten die Bedeutung des Windes gewürdigt worden, und erst seit dem Erscheinen des Werkes von Lentz [125] kann auch dieser Faktor so in Rechnung gezogen werden, wie es sich gehört. Wenn der Wind gegen die Küste steht, so wird durch ihn sowohl das Hoch- als auch das Niedrigwasser erhöht, und

*) Den ersten Anstoss hiezu bot für Thomson der Versuch, eine Maschine herzustellen, welche das Produkt zweier Funktionen der Variablen x nach diesem x integriren sollte [119]. James Thomson adaptirte für die mechanische Bestimmung von $\int y\,dx$ das Dynamometer von Morin [120], und sein genialer Bruder William konstruirte, jenen Apparat als erste Staffel benutzend, den „Harmonic-Analyzer", der aus fünf Scheiben, einem Cylinder und einer zwischen Scheiben und Cylinder eingelagerten schweren Kugel besteht [121]. „Der Tide-Predicter" von Roberts ist für denselben Zweck bestimmt. In Verbindung mit diesen bedeutenden Erfindungen stehen auch Thomson's neue instrumentale Vorrichtungen zur Auflösung beliebiger Systeme von linearen Gleichungen.

zwar um so mehr, je grösser seine Geschwindigkeit ist. Natürlich verhält es sich bei entgegengesetzter Richtung des Windes auch gerade umgekehrt. Stehen grosse Meeresflächen unter dem Einfluss von Dauerwinden, so wird zu den übrigen die Grösse der Fluthoscillation bestimmenden Komponenten auch eine der Windwirkung Ausdruck verleihende Komponente hinzutreten müssen. In den zahlreich vorhandenen Fluthkurven des Lentz'schen Werkes spricht sich das Wehen des Windes vielfach ebenso deutlich oder noch deutlicher aus, wie irgend eines der kosmischen Momente, etwa eine ungewöhnlich grosse Deklination des Mondes und dergleichen mehr. Wir verweisen z. B. auf die Kurve von Triest vom 19. Februar 1873, deren Deformität ersichtlich der Bora auf Rechnung zu setzen ist [126].

Bereits damals, als wir uns im I. Bande (S. 315 ff.) mit dem inneren Zustande der Erde beschäftigten, drängte sich uns der Zweifel auf: Sind die von uns wahrgenommenen Tiden nicht vielleicht blos Differentialtiden, indem auch der feste Erdkörper unter dem Einflusse der anziehenden Himmelskörper eine Formveränderung erleidet? Es ward dort daran erinnert, dass über diese Frage hauptsächlich durch den Nachweis oder Nicht-Nachweis von Gezeiten sehr langer Periode entschieden werden könne. G. Darwin hat auch für andere Aggregat- und Dichtigkeitszustände unseres Erdkörpers, als denjenigen vollkommenster Starrheit, die Untersuchung durchgeführt [127] und gefunden, dass Fluthhöhen und Fluth-eintrittszeiten bei einem Sphäroid aus zähflüssiger Masse in dem Maasse sich verringern, beziehungsweise verzögern, je höher der Grad der Zähigkeit ist. Wichtiger, als für die Theorie der aktuellen Gezeiten, sind diese Studien wahrscheinlich für die Klarstellung der Rolle, welche Ebbe und Fluth in früheren geologischen Zeitaltern bei der Erdbildung zu spielen berufen gewesen sind.*)

§. 10. **Das Eindringen der Fluth in die Ströme.** Bei vielen Flüssen in allen Theilen der Erde begegnet uns eine Erscheinung, welche im Deutschen als Rastern bezeichnet wird. An den Ufern der Dordogne spricht man von „Mascaret“ oder von „Rat de marée,“ bei'm Ganges gilt die Bezeichnung „Bore“ oder „Kenterung“, bei'm Marañhon

*) Auch diesen Cyklus von Fragen finden wir am Gründlichsten durch Darwin [128] beleuchtet. Indem Sonne und Mond auf die bereits hergestellten Flutherhöhungen, sei es des Wasseroceanes, sei es des mehr oder weniger flüssigen Kernes selbst wirken, bringen sie eine Verschiebung der Theilchen zuwege, die dem Quadrate des Sinus der geographischen Breite proportional ist. Soweit wir dieselbe heute kennen, ist sie zur Erklärung irgend einer Schichten-Verbiegung oder Verstellung absolut unzureichend, weil viel zu klein; bedenkt man aber, dass nach Darwin die verschiebende Kraft der sechsten Potenz der Mondesdistanz umgekehrt proportional ist, so könnte in der geologischen Vorzeit diese jetzt nicht mehr merkliche Kraft bei der Gestaltung der heutigen Kontinente sich wohl bethätigt haben [129], und damit wäre der in der Randnote auf Seite 326 dieses Bandes erwähnte Gegenstand exakter Behandlungsweise weit näher gerückt. Ball will übrigens [130] die vorzeitlichen Riesenfluthen auf die eozoische Periode beschränkt und die Kohlenzeit bereits denselben entrückt wissen; auch Newberry [131] und Hull [132] lassen sich darüber aus, dass zum Heile der Menschen die schlimmsten Spring- und Sturmfluthen verschwindend gegenüber denjenigen seien, welche die paläo- und mesozoische Formation erlebten. Ueber hohe Fluthen an sich vergleiche man die darüber von Moseley, Haughton, Elegram, Miller und Yeats gepflogenen Diskussionen [133].

„Barre“ oder „Pororoca“, und auch ausser diesen giebt es noch mehrere Provinzialbenennungen [134]. Die Wellen des Meeres dringen rasch und rauschend in den Fluss ein, bewegen sich eine oft ziemlich weite Strecke stromaufwärts, werden allmählig kleiner und verschwinden gänzlich. Wenn die Mondfluth mit grosser Intensität das Meerwasser an's Ufer treibt, oder wenn der Windstau gross genug ist, um sogar die Stromrichtung umzukehren, so ist diese Erscheinung gerade keine auffällige; man gedenke nur dessen, was in §. 4 über Pregel und Trave gesagt ward. Wenn aber (a. a. O.) von glaubwürdigen Zeugen, wie Lagrave Sorbie und Brunelli, berichtet wird, dass das Phänomen gerade bei Niedrigwasser, und dann oft mit verheerender Gewalt, eintrete, so stehen wir vor einem Räthsel. Condamine sah drei, vier, fünf und selbst noch mehr „Vorgebirge“ von 4—5 m Höhe den Amazonas hinaufeilen [135], und Dryden will am chinesischen Tsien-Tang sogar Boren von 10 m Höhe beobachtet haben [136]. Ob die Aufstauung in Engen des Flussbettes nach La Condamine's Ansicht, ob ein Interferiren mehrerer Wellen, wie Leipoldt (a. a. O.) meint, hiebei in Mitte liege, lassen wir dahingestellt, jedenfalls darf die Wirkung der Gezeiten nicht unbeachtet bleiben, mag sie auch bei der Dordogne in ganz unerwarteter Weise sich äussern. Uebrigens sollte ein Erklärer sich vorzugsweise mit den sowohl für das thatsächlich-beschreibende, wie für das kausal-entwickelnde Moment bedeutsamen Untersuchungen von Bremontier [137] beschäftigen. Auch sonst hat gerade die neueste Zeit sehr viel von der Theorie zu verwendenden Stoff angehäuft*).

Die Wasserbautechniker hatten sich von je aus praktischen Gründen mit dem Eindringen der Fluthwelle in die Flüsse zu beschäftigen, und ihren bezüglichen Arbeiten dankt auch die Geophysik manch' nützlichen Wink. In erster Linie denken wir dabei an die Denkschrift des Holländers van der Wyk [140]. Es wird dort der Versuch gemacht, aus den gegebenen Werthen für die Strömungsgeschwindigkeit, Durchschnittstiefe u. s. w. eines Flusses im Zusammenhalte mit den für die Tiden an der Flussmündung ermittelten Konstanten die Entfernung von der Küste zu bestimmen, bis zu welcher das Rastern sich

*) Mathematisch behandelt die Bewegung einer in den Fluss eindringenden Meerfluthwelle Guieysse [138]. Ein Punkt im Wasser habe zur Zeit o die Abscisse x und die Ordinate y, zur Zeit t die Koordinaten X und Y; wenn dann A, m und n Konstante sind, k die Flusstiefe und v die Geschwindigkeit bedeutet, so sollen die Beziehungen

$$X = 2A\,\mathit{Cos}\,my\cos(nt - mx),\quad Y = -2A\,\mathit{Sin}\,my\sin(nt - mx),\quad v = \sqrt{\frac{g}{m}\,.\,\mathit{Tang}\,mk}$$

bestehen. Die Bahnen der Wassertheilchen sind elliptisch geformt, am Grunde geradlinig, oben hängt es von der Grösse der Welle ab, ob die Excentricität einen grossen oder kleinen Werth erlangt. Wird durch die eindringende Woge die Tiefe des Flusskanals merklich erhöht, so wird *Cos* my nahe gleich 1, *Sin* my nahe gleich 0, weswegen die vertikale Bewegung eines jeden Punktes gegenüber der horizontalen vernachlässigt werden kann. — Eine interessante physikalische Untersuchung hat Ekman [139] angestellt. Indem er nämlich nahe bei der Einmündung des Göta-Elf das Kattegat auf seinen Salzgehalt prüfte, fand er, dass dem in das Meer sich ergiessenden Süsswasserstrom stets ein Salzwasserstrom entspricht, der stromaufwärts geht und sich mehr und mehr der Oberfläche nähert. Schwimmer können zum Nachweise dieser Strömung dienen, welche uns im nächsten Kapitel, wenn auch aus anderen Beweggründen, wiederum beschäftigen wird.

noch bemerklich macht. v. Schleinitz lehrt Beobachtungen der Gezeitenströme richtig anzustellen und nach einer von Boussinesq angegebenen Formel zu diskutiren [141].

[1] E. H. und W. Weber, Wellenlehre auf Experimente gegründet, Leipzig 1825. — [2] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 10. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1842. S. 1314 ff. — [3] Flaugergues, Verhandeling over de beweging en gedaante der golven, Haarlem 1793. — [4] Gerstner, Theorie der Wellen sammt einer daraus abgeleiteten Theorie der Deichprofile, Prag 1804. — [5] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 10. Band, 2. Abtheil., S. 1284. — [6] St. Venant, Du roulis sur mer houleuse Mém. de la soc. des sc. natur. de Cherbourg, (2) Vol. VI. S. 1 ff. — [7] Mottez, Du courant alternatif dans la houle. ibid. (2) Vol. VI. S. 360 ff. — [8] Ibid. S. 368 ff. — [9] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde. Leipzig 1884. S. 152. — [10] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 4. Theil, Zürich 1862. S. 152. — [11] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 8. Band, Leipzig 1836. S. 737 ff. — [12] R. Wolf, Notizen zur schweizerischen Kulturgeschichte, Nr. 352. — [13] Vaucher, Mémoire sur les seiches du lac de Genève. Mém. de la Soc. de Genève, 1833; daraus in Voigt's Magazin für das Neueste aus Physik und Naturkunde, 10. Band, S. 503 ff. — [14] Ibid. 12. Band. S. 57. — [15] Forel, Les seiches; vagues d'oscillation des lacs. Luzern 1876. — [16] Forel, Seiches and earthquakes, Nature, Vol. XVII., S. 281. — [17] Zöppritz. Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's Geogr. Jahrb., 9. Band, Gotha 1883. S. 32. — [18] Letronne, Recherches géographiques et critiques sur le livre de mensura terrae par Dicuil, Paris 1814. S. 64. — [19] Klönne, Die periodischen Schwankungen des Wasserspiegels in den inundirten Kohlenschächten von Dux, Wien 1880. — [20] Zöppritz, Die Fortschr. etc., S. 5. — [21] Siber, Fragmente zu einer Geschichte der Meteorologie, Arch. f. Chem. und Meteorol., 6. Band. S. 377. — [22] A tidal probleme, Nature, Vol. XXI. S. 186. — [23] Spallanzani, Beobachtungen über Scylla und Charybdis, Gilbert's Ann. d. Phys., 5. Band. S. 98 ff. — [24] Th. Fischer. Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, Leipzig 1877. S. 92 ff. — [25] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie. 1 Band, Wien 1883. S. 401. — [26] v. Schweiger-Lerchenfeld, Wogengang und Brandung, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 6. Jahrgang. S. 275 ff. — [27] Handbuch etc., S. 409. — [28] Gehler's Phys. Worterb., 2. Aufl., 6. Band. 3. Abtheilung, Leipzig 1837. S. 1740. — [29] Handbuch etc., S. 411. — [30] Virlet d'Aoust, Action de l'huile sur les vagues de la mer, L'Astronomie (de Flammarion). 1882. S. 384 ff. — [31] Wirkung des Oeles auf die Meeresbrandung, Das Wetter (von Assmann), 1. Jahrgang. S. 35. — [32] Franklin, On the stilling of waves by means of oil, Phil. Transact., 1774. — [33] Handbuch etc., S. 402. — [34] Das Oelen der See, Gaea, 17. Jahrgang. S. 694. — [35] v. Sonklar, Von den Ueberschwemmungen, Wien-Pest-Leipzig 1883. S. 14. — [36] Eilker, die Sturmfluthen in der Nordsee, Emden 1876. — [37] Lentz, Fluth und Ebbe und die Wirkung des Windes auf den Meeresspiegel, Hamburg 1879. S. 115 ff. — [38] Ibid. S. 119. — [39] Ibid. S. 120. — [40] Zöppritz, zur Theorie der Meeresströmungen, Gaea 15. Jahrgang. S. 344 ff. — [41] Lentz, Fluth etc., S. 124 ff. — [42] Wellenhöhe und Wellenkraft. D. Rundschau für Geogr. und Stat., 4. Jahrgang. S. 125. — [43] Koppmann-Walter-Breusing. Das Seebuch, Bremen 1876, S. 31. — [44] Lentz. Von Ebbe und Fluth des Meeres, Hamburg 1874; vgl. [37]. — [45] Ruge, Der Chaldäer Seleukos, Dresden 1865. S. 17. — [46] Peschel-Ruge. Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877. S. 69 ff. — [47] Ibid. S. 152. — [48] Ibid. S. 435 ff. — [49] Handbuch etc., S. 447. — [50] Bessel, Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, herausgeg. von Schumacher, Hamburg 1848. S. 167. — [51] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 3. Band, Leipzig 1827. S. 54 ff. — [52] Fluthwelle im Hafen von Nagasaki, Gaea. 14. Jahrgang. S. 608 ff. — [53] Romme, Tableaux des vents, des marées et des courans. Paris 1817. — [54] Vigan, Note sur les marées de la méditerranée, L'Astronomie (de Flammarion), 1884. S. 113 ff. — [55] Vigan, Études sur la méditerranée, Paris 1882. — [56] Toaldo, Epistola de reciproco aestu maris. Phil. Transact., 1777. S. 144 ff. — [57] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. S. 142 ff. — [58] v. Schultén, Försok, att forklara orsaken till vattnets stigande och fallande, samt derigenom uppkommande stromdrag i

Oestersjön, Stockholm 1806. — [59] v. Lorenz-Rothe, Lehrbuch der Klimatologie mit besonderer Rücksicht auf Land- und Forstwirthschaft, Wien 1874. S. 190. — [60] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1881. S. 32. — [61] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 3. Band, S. 56. — [62] Ableitung der Fluthkonstanten zu Wusung und Amoy, Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteor., 11. Jahrgang. S. 206. — [63] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band. S. 31. — [64] Heger, Die physische und mathematische Geographie, Lübeck 1853. S. 92 ff. — [65] Palmer, Description of a graphical registrer of tides and winds, Phil. Transact., 1831. I. S. 209 ff. — [66] Handbuch etc., S. 119 ff. — [67] Ibid. S. 460 ff. — [68] Stahlberger, Die Ebbe und Fluth in der Rhede von Fiume, Budapest 1874. — [69] Schubert, Konstruktion der Fadenkurve des verbesserten Seewegintegrators, Mittheil. d. math. Gesellsch. zu Hamburg, Nr. 23. — [70] W. Hess, Hydrometrische Instrumente, Würzburg 1884. — [71] Plutarchi Placita Philosophorum, lib. III. cap. 17. — [72] C. Plinii Secundi Historiae naturalis libri XXXVII, lib. II. cap. 99. — [73] Cosmographie de Shems-ed-din de Damas, ed. Mehren, Copenhague 1874. S. 4. — [74] Peschel-Ruge, Gesch. etc., S. 222 ff. — [75] Favaro, Intorno ad una nuova edizione delle opere di Galileo, Venezia 1881. S. 11. — [76] Bacon de Verulamio, De fluxu et refluxu maris, Opera, Francofurti 1665. S. 639 ff. — [77] Stevin, Traité de la théorie des marées, Oeuvres mathém., revues et augmentées par A. Girard, Vol. II., Leyde 1634. S. 177 ff. — [78] Kästner, Geschichte der Mathematik, 4. Band, Göttingen 1800. S. 241 ff. — [79] Ibid. S. 281. — [80] Galilei, Dialogus des systemate mundi, Lugduni 1641. S. 311. — [81] Wallis, De aestu maris hypothesis nova, Oxoniae 1668. — [82] Varenius, Geographia generalis, Amstelodami 1664. lib. I. Cap. 14. — [83] Fournier, L'hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation, Paris 1643. S. 449 ff. — [84] Peschel-Ruge, Gesch. etc., S. 437. — [85] Fournier, L'hydrogr. etc., S. 455. — [86] Sir Isaak Newton's Mathematische Principien der Naturlehre, deutsch von Wolfers, Berlin 1872. S. 448. — [87] Pièces qui ont remporté le prix proposé par l'académie française pour 1740. Vol. IV., Paris 1740. — [88] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, Wagner's Geogr. Jahrbuch, 8. Band, Gotha 1881. S. 12. — [89] Kies, De influxu lunae in partes terrae mobiles, Tubingae 1769. S. 21. — [90] Hube, Vollständiger und fasslicher Unterricht in der Naturlehre, 3. Theil, Leipzig 1794. S. 240 ff. — [9] Fulda, Bemerkungen über Herrn Prof. Hube's Erklärung der Ebbe und Fluth, Gren's Neues Journal der Physik, 4. Band. S. 28 ff. — [92] J. C. Fischer, Geschichte der Naturlehee, 6. Theil, Göttingen 1805. S. 781 ff. — [93] Ibid. S. 796 ff. — [94] Pièces etc., Vol. IV. S. 224. — [95] Will. Thomson, On vortex motion gravitational oscillations in rotating water, Nature, Vol. XIX. S. 571 ff. — [96] Parrot, Mängel der Theorie der Ebbe und Fluth, Ann. d. Phys. u. Chem., 4. Band. S. 219 ff. — [97] Drobisch, Versuch zur Beseitigung der von Herrn Professor Parrot angegebenen Mängel in der Theorie der Ebbe und Fluth, ibid. 6. Band. S. 233 ff. — [98] Hugi, Grundzüge einer allgemeinen Naturansicht, Solothurn 1841. — [99] Whewell, Recherches on the tides, Phil. Transact., 1836, 1837, 1839, 1840, 1848, 1850. — [100] Lubbock, Elementary treatise on the tides, London 1839. — [101] Nürnberger, Populäres astronomisches Handwörterbuch, 1. Band, Kempten 1856. S. 266 ff. — [102] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band. S. 22. — [103] W. Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz und Wertheim, 1. Band, 2. Theil, Braunschweig 1874. S. 362 ff. — [104] Ibid. S. 369 ff. [105] Handbuch etc., S. 432 ff. — [106] Günther, Elementare Behandlung einiger Punkte der mathematischen Geographie, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht, 7. Jahrgang. S. 97 ff. — [107] F. Neumann, Einleitung in die theoretische Physik, herausgeg. von Pape, Leipzig 1883. S. 138. — [108] Challis, On the mathematical principles of Laplace's theory of the tides, Phil. Mag., Vol. L. S. 544 ff. — [109] Auerbach, Die theoretische Hydrodynamik, nach dem Gange ihrer Entwickelung in der neuesten Zeit in Kürze dargestellt, Braunschweig 1881. S. 15. — [110] Airy, Tides and waves, London 1846. — [111] Auerbach, Die theor. Hydrodyn. etc., S 52 ff. — [112] W. Thomson, On an alleged error in Laplace's theory of the tides, Phil. Mag., Vol. L. S. 227 ff. — [113] Roberts, Preliminary note on a new tide-predicter, Nature, Vol. XX. S. 581 ff. — [114] R. Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877. S. 48 ff. — [115] Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, Berlin 1874. S. 82 ff. — [116] Handbuch etc., S. 465 ff. — [117] Handbuch etc., S. 471. — [118] Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, Braunschweig 1863. S. 227 ff. — [119] W. Thomson, On an instrument for calculating $\int \varphi(x) \psi(x) dx$, Proceed.

of the royal society of London, 1876. S. 266 ff. — [120] J. Thomson, On an integrating machine having a new kinematic principle, ibid. 1876. S. 262 ff. — [121] W. Thomson, Harmonic-Analyzer, ibid. 1878. S. 371 ff. — [122] W. Thomson, On the tides of Port Luis (Mauritius) and Freemantle (Australia), Nature, Vol. XVI. S. 405. — [123] W. Thomson, Influence of the straits of Dover on the tide of the British Channel and the North-Sea, ibid. Vol. XIX. S. 152 ff. — [124] Auerbach, Die theor. Hydrodyn. etc., S. 41 ff. — [125] Lentz, Fluth und Ebbe etc., S. 115 ff. — [126] Ibid. S. 101. — [127] Darwin, On the bodily tides of a viscous and semi-elastic spheroid and on the ocean tides on a yielding nucleus, Phil. Transact., 1879. S. 1 ff. — [128] G. Darwin, Problems connected with the tides of a viscous spheroid, ibid. 1879. S. 539 ff. — [129] Handbuch etc., S. 474. — [130] Ball, A glimpse trough the corridors of tides, Nature, Vol. XXV. S. 79 ff. S. 103 ff. — [131] Newberry, Hypothetical high tides, ibid. Vol. XXV. S. 357 ff. — [132] Hull, Ancient tidal action and planes of marine denudation, ibid. Vol. XXV. S. 177 ff. — [133] Moseley, The highest time on record, ibid. Vol. XIX. S. 263. — [134] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 8. Band, Leipzig 1836. S. 1217. — [136] Ibid. S. 1219. — [136] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band, S. 29. — [137] Bremontier, Sur le Mascaret, Journal de physique, Vol. LXXIX., S. 220 ff. — [138] Guieysse, De la propagation des marées dans les rivières, Journ. des math. pures et appliquées, (3) Vol. I. S. 399 ff. — [139] Ekman, Notice sur le mouvement de l'eau dans le voisinage de l'embouchure des fleuves, Arch. des sciences phys. et nat., Vol. LIV. S. 62 ff. — [140] van der Wyk, Ueber die niederländischen Flüsse und die Mittel zu ihrer Verbesserung, Deventer 1832. §. 19. — [141] v. Schleinitz, Ein Beitrag zur Theorie der Wasserbewegung in Strömen, Ann. d. hydr. u. marit. Meteorol., 6. Jahrgang. S. 225 ff.

Kapitel V.

Die Strömungen im Meere.

§. 1. **Gegensätzlichkeit der Wellen- und der Strombewegung.** Während bei der Wellenbewegung, möge sie nun durch Wind oder kosmische Attraktion veranlasst sein, ein bestimmtes Wassertheilchen seine Bewegungen nur innerhalb eines sehr enge begrenzten Raumes vollführt, giebt es im Meere auch anderweite Bewegungen, nämlich solche progressiver oder translatorischen Natur. Die von diesen Bewegungen ergriffenen Wassermassen werden in bestimmten Richtungen mit ziemlich gleichförmiger Geschwindigkeit fortgeführt; ein Theil des Meeres tritt zu zwei anderen in ein ganz ähnliches Verhältniss, wie es zwischen einem festländischen Strome und seinen beiden Ufern obwaltet, nur dass die Lage dieser Ufer keine gleich unveränderliche, sondern eine innerhalb gewisser Grenzen veränderliche ist*). Man ist demnach völlig berechtigt, von Meeresströmungen zu sprechen. Muncke's Eintheilung [2] in ganze Ströme — von den Briten „bodily currents“ genannt —, Oberströme und Unterströme ist an

*) In der weitaus verdienstlichsten Schrift, die zur systematischen Begründung der Lehre von den Meeresströmungen in neuerer Zeit erschienen ist, in derjenigen von P. Hoffmann, wird die Analogie mit den Flüssen deswegen verworfen, weil bei'm Mangel wirklicher Ufer die Bewegung der Stetigkeit entbehre [1]. Wir denken jedoch, dass unter den angegebenen Kautelen ein Vergleich zulässig ist; giebt es doch auch Süsswasserströme, welche durch Ueberschwemmung und [illegible] ausgesetzte Erosion es dahin bringen, dass an ihnen gar keine sicheren Ufer[illegible] mehr zu erkennen sind.

sich leicht verständlich; im ersteren Falle herrscht der nämliche Bewegungszustand vom Wasserspiegel bis zu sehr beträchtlichen Tiefen hinab, im zweiten sind nur oberflächliche, im dritten nur die tiefer liegenden Schichten in Mitleidenschaft gezogen. Die sonst wohl auch viel gehörte Eintheilung in eigentliche Ströme („stream-currents") und Driftströmungen („drift-currents") lassen wir, im Einverständnisse mit Hoffmann [3], fallen, da dieselbe mit den neueren Ansichten über die wahre Causa movens der fortschreitenden Meeresbewegung nicht mehr im Einklange stehen.

Dass die mathematische Theorie der Wasserwellen eine völlig andere sein muss, als diejenige der Meeresströme, leuchtet an sich ein. Die letztere hat zur Grundlage die Lehre von den stationären Bewegungen, d. h. von jenen Bewegungen, deren Zustand sich mit der Zeit nicht mehr verändert. Erst in allerneuester Zeit ist ernstlich Hand an die Aufgabe gelegt worden, die allgemeinen Sätze, welche man aus anderen Zweigen der Physik, namentlich aus dem Kapitel von der Wärmeleitung, abstrahiren konnte, gründlich für die uns hier beschäftigende hydrodynamische Frage zu verwerthen.

§. 2. **Aeltere Beobachtungen über Meeresströmungen.** Solche Beobachtungen mussten sich in dem Maasse mehren, als die Küstenschifffahrt des Alterthums und Mittelalters sich unter den Auspicien der muthigen Portugiesen zur freien Seefahrt ausbildete. „Den Golfstrom," sagt Peschel [4], „fanden schon die Portugiesen im XV. Jahrhundert, den Moçambiquestrom muss bereits Vasco de Gama bemerkt haben, denn er gab dem Kap Corrientes seinen Namen*), den Golfstrom nahe an seiner floridanischen Enge fand Antonio de Alaminos im Jahre 1513, den Labradorstrom Sebastian Cabot vielleicht schon auf seiner Fahrt im Jahre 1497, mit dem kalten peruanischen Küstenstrome mussten schon die ersten Entdecker kämpfen, und da er in den alten Lootsenbüchern bereits erwähnt wird, so hat A. v. Humboldt sich lebhaft verwahrt, dass jene Erscheinung nach ihm benannt werde." Im Jahre 1665 stellte Athanasius Kircher, der uns schon früher (S. 25 dieses Bandes) als sachverständiger Freund graphischer Darstellung begegnete, Alles, was man um jene Zeit von den Meeresströmungen wusste, auf einer Karte zusammen [7]. Zumal der einflussreiche und schon sehr bald als Witterungs-Regulator angesprochene Golfstrom, von welchem uns Kohl [8] eine sehr schätzbare Geschichte geliefert hat, zog mehr und mehr die Aufmerksamkeit der Geographen auf sich, in erster Linie des grossen Varenius, der dessen Ursprungsstätte sehr wohl erkannt hatte. Sehr eingehend beschäftigte sich J. Vossius mit den Meeresströmen in einer bei allen Mängeln doch originellen und auf ein für jene Zeit beträchtliches empirisches Material sich stützenden Schrift [9]. Derselbe hebt besonders hervor

*) Der Kampf, den die portugiesischen Segler gegen diese mächtige Strömung aufnehmen mussten, war kein leichter, denn Gama sah sich dadurch, wie Ruge berichtet, genöthigt, von seinem sonst ziemlich strenge innegehaltenen Principe der Küstenschifffahrt abzugehen und nach Madagaskar hinüber zu lenken [5]. Auch Cabotto machte seine Entdeckung in für ihn widerwärtiger Weise, indem ihn die von der Polarströmung herbeigeführten Eismassen zu raschem Verlassen der neu entdeckten Küste von Labrador zwangen [6].

einen „motus perpetuus“ in der heissen Zone, welcher genau dem täglichen Laufe der Sonne folge und am kräftigsten zwischen der peruanischen Küste und den Molukken sich offenbare [10], eine zweite ähnliche Bewegung, welche durch den jährlichen Lauf der Sonne bedingt sei, eine meridionale Richtung einhalte, in ihrem Verlaufe aber auch durch die Küstenkonfiguration Afrika's wesentlich beeinflusst werde [11], und endlich einen „modus tertius priori semper contrarius“, von welchem der Golfstrom sich als ein Theil darstellt [12]. Auf die theoretischen Ansichten, welche Vossius mit diesem von ihm begründeten Systeme verknüpft, wird später einzugehen sein. Jedenfalls steht dieser Theil der Meereskunde der Darstellung nach bei Vossius schon auf einem viel höheren Standpunkte, als in der zwanzig Jahre früher veröffentlichten nautischen Encyklopädie des Fournier, deren Verfasser in dem Abschnitte „Des courants qui se trouvent en divers lieux de la mer“ [13] zwar eine recht fleissige Liste aller ihm bekannten Lokalströmungen, zwanzig an der Zahl, mittheilt, aber nur zum Zwecke der Segelanweisung und ohne Versuch der Aufsuchung geographischer Bindeglieder. — Das XVIII. Jahrhundert vermehrte den Vorrath des Wissens auf unserem Gebiete nicht sehr erheblich, selbst in Kant's trefflichen Vorträgen ist der Gegenstand ziemlich oberflächlich abgehandelt [14], und von Originalbeiträgen selbstständiger Forscher scheinen nur einige mehr gelegentliche Aeusserungen Franklin's [15] in Betracht zu kommen.

Eine Aenderung zum Besseren trat in den ersten Jahrzehnten des neuen Jahrhunderts ein, als drei Forscher ersten Ranges, Sabine, Scoresby und Rennell, dem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit zuwandten. Rennell's Darstellung der atlantischen Strömungen [16] kann recht eigentlich als der Markstein der neuen Aera gelten. Als dann noch Maury's „Sailing Directions“ den Praktikern an's Herz gelegt hatten, wie wichtig für die Erzielung kurzer Seereisen neben der Berücksichtigung der Dauerwinde auch diejenige der Strömungen sei, begann Vertrautheit mit diesen letzteren als für den Oceanographen selbstverständlich betrachtet zu werden.

§. 3. **Hülfsmittel für das Studium der Meeresströmungen.** Nur in Ausnahmsfällen wird es möglich sein, direkt, d. h. etwa durch Beobachtung des von Schwimmkörpern zurückgelegten Weges, sich über Richtung, Lage und Geschwindigkeit von Meeresströmen ein Urtheil zu bilden. Man muss deshalb gewöhnlich zu indirekten Beobachtungen seine Zuflucht nehmen. So ist man häufig von einem Erfahrungssatze ausgegangen, welcher sich auffallenderweise fast nirgends klar formulirt findet, dem man aber unschwer diese Fassung ertheilen kann: Sobald für eine Anzahl von Punkten auffallende Sprünge im Salzgehalt und in der Meerestemperatur gegenüber Nachbargebieten hervortreten, liegt die Vermuthung nahe, dass die Verbindungslinie der fraglichen Punkte ein stromloses Meeresgebiet von einem stromerfüllten trennt. Wer sich für die Anwendung dieser Regel auf ein konkretes Beispiel interessirt, der möge den Abschnitt in Krümmel's Theorie der atlantischen Strömungen studiren, welcher aus der Wärmevertheilung in den Oberflächenschichten des Atlantik Schlüsse vorgenannter Art

ziehen lehrt [17]. Das, was dort als thermische Stratigraphie der Meere bezeichnet wird, dient zur Korrektion der aus den Verhältnissen der oberflächlichen Partieen entnommenen Schlüsse. Wenn man mit J. J. Wild [18] ein generelles Diagramm der oceanischen Strömungen entwirft, so findet man, dass die Strömungen der Luft wie die der Oceane um die Centren der Luftdruckvertheilung über den Oceanen cirkuliren. Damit ist ein neuer hodegetischer Fingerzeig gegeben. Hann konstatirt als Thatsache [19]: „Die Meeresströmungen folgen den vorherrschenden Winden, nur die warmen Strömungen an den Nordostküsten der Kontinente bilden eine Ausnahme insofern, als im Winter die kalten kontinentalen Nordwestwinde fast rechtwinklig auf die Meeresströmungen hinaus wehen, ohne dieselben wesentlich von ihrem Kurse abzulenken.“ Wir nehmen diess einstweilen als ein durch vielfache Erfahrung gestütztes Faktum hin, dessen kausale Grundlage später einleuchten wird. — Wenn ein Kapitän die Route seines Schiffes für die oceanische Stromkunde verwerthen will, so erreicht er seinen Zweck dadurch, dass er die aus den astronomischen Besteckaufnahmen berechnete Distanz — die astronomische — zweier Orte mit der durch die Logrechnung gefundenen — der geometrischen — vergleicht. „Die beste Art, aus einer grossen Zahl von Einzelbeobachtungen zu einem Ueberblicke über die thatsächlichen Verhältnisse zu kommen, dürfte sein: alle Beobachtungen zusammenzustellen, der Richtung nach getrennt nach Quadranten, aus den Quadranten das arithmetische Mittel für die Geschwindigkeit zu berechnen und die Stromrichtung nach vier Quadranten neben den Stromstillen anzugeben nach Procenten aus der Gesammtzahl der Beobachtungen“ [20].

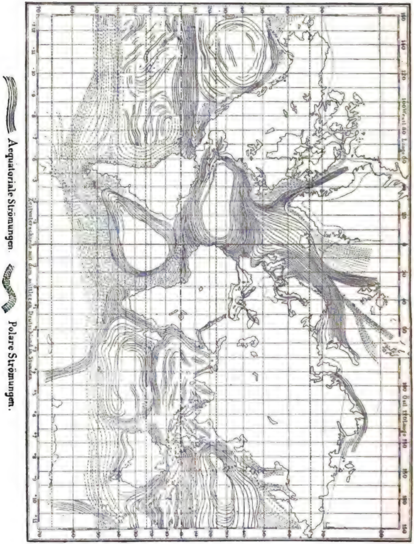
Freilich wird man, wie Hoffmann (a. a. O.) betont, auch bei vorsichtigster Anwendung der vorbezeichneten Methoden, nicht immer den Verlauf der Ströme richtig erkennen, und es wird sogar nicht ausbleiben, dass die so aufgenommenen Stromdiagramme Einzelheiten aufweisen, welche den elementaren Gesetzen der Mechanik widersprechen. Aus diesem Grunde ist der theoretischen Betrachtung ein grösseres Feld einzuräumen, als es vielfach üblich war und ist. Sehen wir nun zu, wie sich uns das Bild der für die einzelnen Meere charakteristischen Ströme darstellt. Unserer Beschreibung liegt Fig. 78 zu Grunde*).

§. 4. **Die Strömungen des atlantischen Meeres.** Wie leicht zu erklären, ist dieser Ocean der am Genauesten erforschte. Die Publikationen des englischen meteorologischen Komité's [22] und eine Arbeit von Koldewey [23] dienten als Basis für Krümmel's sorgfältige Monographie (s. o.); in neuester Zeit haben Attlmayr und E. Mayer eine höchst ausführliche Schilderung des atlantischen Strömungssystemes veröffentlicht [24], und auch P. Hoffmann [25] beschäftigt sich mit ihm als mit einem trefflichen Belege für seine theoretischen Ansichten. Hier, wie sonst, haben wir zweierlei Gattungen von Strömen zu unterscheiden: die äquatorialen oder warmen Strömungen und die polaren oder kalten Strömungen. Allerdings sind dabei

*) Maassgebend war für dieses Tableau hauptsächlich das Supan'sche [21], doch sind nach Krümmel und Th. Fischer mannigfache Abänderungen und Zusätze angebracht worden.

die Worte „kalt“ und „warm“ cum grano salis zu verstehen. Des Ferneren steht jeder Aequatorialströmung von West nach Ost eine Aequatorialgegenströmung von Ost nach West zur Seite.

Fig. 78.



„Das ganze Gebiet der Passatwinde des atlantischen Oceanes wird ausgefüllt von einer westlichen Meeresströmung, welche ihrer Richtung und Geschwindigkeit nach die grossen Züge der Passate

wiederspiegelt." Die Polgrenzen dieser Strömung sind durchweg auch diejenigen der Passate. Die grösste Geschwindigkeit ward von „Challenger" unter 2,7° südlicher Breite gemessen. Der Aequatorialstrom des Nordostpassates wird häufig als nordafrikanische Strömung bezeichnet, welcher Name aber nach Hoffmann besser dem Küstenstrome zwischen Sierra Leone und Kap Palmas vorbehalten bleiben sollte. Das Vorhandensein zweier verschiedener Aequatorialströmungen und einer zwischen beide eingelagerten Gegenströmung ist, nach Krümmel, im Gegensatze zu Rennell, zuerst von Findlay erkannt worden [26]. Der sogenannte Guineastrom unterliegt hinsichtlich des von ihm beherrschten Raumes starken periodischen Schwankungen, deren Durchschnitt unser Bild zu repräsentiren versucht [27]. Südlich scheint der durch seine blaue Farbe charakterisirte Guineastrom etwa bis zum Kuilu zu reichen. Von der afrikanischen Küste weg wendet sich der Südäquatorialstrom nach Westen, durchschnittlich bis gegen 3° Norderbreite sich ausdehnend; allmählig wächst die nördliche Breite der Grenzlinie bis zu seiner Annäherung an die Küste von Brasilien [28]. Die Stromaxe des Aequatorialstromes entspricht in diesem westlichen Theile völlig der Linie grösster Intensität des Südostpassates, und mit dieser biegt sie, an dem vorspringenden Winke des brasilischen Küstenrandes angelangt, nordwestlich um. Zwischen den Rocas und der Insel Trinidad wird die Aequatorialströmung zum Guianastrom [29]. Im Herbste hält dieser letztere eine nördlichere Richtung ein, als in den übrigen Theilen des Jahres; auch bleibt er vom Gestade ziemlich weit entfernt und hindert z. B. den Amazonenstrom nicht, noch auf bedeutende Entfernungen sich als selbstständige Küstenströmung geltend zu machen. Durch die Kanäle, welche die einzelnen Bestandtheile der Antillen-Gruppe trennen, dringt ein Theil der von Westen kommenden — und deshalb auch nach der eigenthümlichen Ausdrucksweise des Seefahrers*) als Weststrom zu bezeichnenden — Strömung in den mexikanischen Busen ein, während ein Zweigstrom an der Ostsee jener Inselkette hinaufgeht und an seinem Theile mit den Anstoss zu der Antillenströmung giebt.

Während nämlich früher der auch noch auf den Berghaus-schen Karten zum Ausdrucke gelangte Glaube herrschte, dass alles Wasser des warmen nordatlantischen Strömungskomplexes dem mexikanischen Golfe entstamme, ist durch die von Krümmel [30] bearbeiteten Beobachtungen des „Challenger" ausser Zweifel gestellt worden, dass die Hauptmasse jenes Wassers von der nördlichen Aequatorialströmung her ausserhalb der Antillen nordwestwärts geht, sodann nördlich und schliesslich nordöstlich umbiegt. Bis zu einer Tiefe von 510 m hinab begegnen wir hier einer gleichmässigen Temperatur von 15°. Mit diesem Strome vereinigt sich, aus der relativ engen Strasse nördlich von Kuba hervorbrechend und durch seine Intensität den Antillenstrom zunächst ganz in Schatten stellend, die Floridaströmung. Nachdem, Hoffmann's Wortausdruck beizubehalten [31], die „Riegel von Bennini" passirt sind, treten beide vereinigte Zweige als der

*) Die Richtungsbezeichnung ist für Meeresströme die umgekehrte wie für Winde.

wohlbekannte Golfstrom auf, der nun mit ziemlich gleicher Geschwindigkeit und mit wenig wechselnder Breite dem Küstenlaufe bis gegen Charleston hin folgt. Seitens der amerikanischen Küstenvermessungskommission sind, unter der speziellen Leitung von Hilgard, Howell, Sigsbee und Bartlett, seit mehr denn zehn Jahren Unter suchungen über die Fortpflanzung und die Bezugsquellen des Golfstromes angestellt worden, über welche auch ein zusammenfassender Bericht in deutscher Sprache vorliegt [32]. Zunächst ist durch diese festgestellt worden, dass das Wasser im Golfe nicht einen eigentlichen Kreislauf beschreibt, und dass die hohe Temperatur hauptsächlich von der Windward-Passage herrührt, zu welcher das der stärksten Insolation ausgesetzte Wasser über zahlreiche flache Bänke hinweg gelangt. In gewissen Tiefen stimmt die Temperatur auch späterhin noch mehrfach mit derjenigen der Windward-Passage überein. Die Strömung geht über ein ziemlich ebenes Plateau dahin, welches sich sanft in östlicher Richtung abdacht und gegen Norden zu immer schmäler wird. Bei Kap Hatteras tritt das fliessende Wasser in grössere Tiefen ein, „es verliert den Boden unter den Füssen“ und wendet sich ostwärts [33]. Nun prägt sich auch sein Stromcharakter deutlicher aus, seine Temperatur wird höher, seine Dichte grösser, die Farbe ein tieferes Blau. Allmählig treten Stromtheilungen hervor. Der Hauptarm ergiesst sich zwischen Island auf der einen, Grossbritannien und Skandinavien andererseits in das nördliche Eismeer, ein minder starker Arm ist sehr weit in die Davis-Strasse hinein zu verfolgen, indem er das thermale Uebergewicht des westlichen Grönlandufers über das östliche bewirkt, und der als Rennellströmung bekannte südöstliche Seitenzweig dringt durch den biscayischen Busen hindurch zur Westküste Irlands empor*). Rennellströmung und nordafrikanische Strömung laufen hiernach neben einander her. Was den Hauptstrom anlangt, so hat derselbe, wie gezeigt, in der Hauptsache eine nordöstliche Richtung, doch muss es fast scheinen, als würden seine Gewässer ab und zu auch nach Nord und Nord-Nordwest getrieben**). Die polaren Ausläufer des Golfstromes werden uns in einem der nächsten Paragraphen noch besonders beschäftigen.

Das warme Wasser des Golfstromes hat an drei verschiedenen Stellen seinen Besitzstand gegen das eindringende Wasser kalter Polarströme zu vertheidigen. Eine dieser Stellen (s. die Figur) gehört bereits den Eismeeren, eine zweite liegt zwischen Island und Grönland,

*) Es ist die allgemeine Ansicht [34], dass die günstigen klimatischen Verhältnisse England's, Irland's und Norwegen's grossentheils auf Rechnung des Golfstromes zu setzen sind, und es hätte diess auch kaum etwas Wunderbares, wenn man berücksichtigt, dass nach Croll's Rechnungen [35] jener Strom täglich aus den Aequatorialgegenden eine Wärmemenge hinwegführt, welche als mechanisches Aequivalent die gigantische Zahl von 154959300000000 Fusspfund haben würde. Gleichwohl ist Carpenter [36] gegen diese Ansicht aufgetreten, ohne dass bisher, soweit wir sehen konnen, viele Fachmänner sich bisher in ihrer Zuneigung für eine meteorologisch jedenfalls sehr wohl beglaubigte Hypothese hätten irre machen lassen. Nur v. Klöden trat auf Carpenter's Seite.

**) Irminger berichtet nämlich [37], dass in Thorshavn (Fär-Öer) und sogar in Julianehaab (Südgrönland) schon oft Glaskugeln angetrieben seien, die nur von den auf den Shetlands-Inseln in Gebrauch stehenden Fischernetzen herrühren könnten.

eine dritte östlich von Newfoundland. Wir haben zunächst also auf die ostgrönländische Strömung Bedacht zu nehmen, welche vom Kap Farewell an auch noch eine kalte Strömung längs eines kleineren Theiles des westgrönländischen Küstensaumes hinaufsendet, als wichtiger aber kommt die aus der Baffinsbay, resp. aus den Engen der nordwestlichen Durchfahrt stammende und auch von Seiten der Hudsonsbay aus gespeiste Labradorströmung in Frage [38]. Dieselbe giebt ihr kaltes Wasser zum kleinen Theile in den St. Lorenz-Golf ab, doch vereinigt sich dasselbe grösstentheils wieder mit dem Hauptaste, der sich jetzt zwischen die Unionsküste und den warmen Golfstrom hineindrängt, bis über Süd-Karolina hinaus sich geltend macht und nach und nach aus einem Oberstrome sich in einen Unterstrom verwandelt. Noch jetzt findet man vielfach die Angabe, dass jener kalte Wasserwall („cold wall"), der bis zu den Tortugas-Inseln den Nordsaum des Floridastromes umgeben soll, auf die Labradorströmung zurückzuführen sei. Allein das scheint mit Bartlett's Angaben nicht recht verträglich zu sein. Nach diesen wäre nämlich der kalte Wall nichts Stabiles, Dauerndes und noch dazu nicht um so viel kälter als der Golfstrom, dass man wirklich an eindringendes arktisches Wasser zu denken gezwungen wäre. Auch die hierauf zurückgeführten kalten Bänder, die man oft in das warme Floridagewässer eingebettet sieht, haben einen zufälligen Charakter und rühren vermuthlich von intensiven Regenfällen her.

Nachdem wir sonach die Strömungen des offenen Nordatlantik genügend abgehandelt haben*), wenden wir uns dem Südatlantik zu. Hier fällt unser Auge zunächst auf die Brasilienströmung, welche vom 6. bis zum 40. Grade lat. austr. sich dahinzieht und dann in scharfem Winkel nach Ost und Nordost abspringt. Die Genese dieser Strömung ist vielfach, selbst noch im österreichischen Admiralitätshandbuche [39], insoferne falsch aufgefasst, als man eine Stromtheilung ohne Ursache in das freie Meer verlegte. Nach Krümmel's auch von uns respektirter Kartenzeichnung und Begründung [40] ist das Verhältniss jedoch ein anderes. Zwischen den südlichen Aequatorialcyklus und den Guineastrom schiebt sich eine kalte, grün gefärbte Strömung ein, der Benguelastrom, eine Fortsetzung der mächtigen aus der Südsee kommenden Strömung**), welche wir Kap-Hoornstrom nennen wollen. Der Benguelastrom bleibt der afrikanischen Küste nahe bis zur Mündung des Congo, dessen Wasser er nordwestlich weit abführt [43]***). Westlich der Insel St. Thomé wendet sich diese

*) Erwähnt sei anhangsweise, dass der vom Golfstrom nördlich und vom Aequatorialstrom südlich begrenzte Meerestheil jene zahleichen Meerpflanzen beherbergt, die ihm (vgl. Kap. I. §. 8 dieser Abtheilung) den etwas übertriebenen Beinamen „Sargasso-See" verschafft haben.

**) Ob auch zwischen dem Feuerland und dem Kontinent eine Strömung nachzuweisen sei, darüber sind, Mangels genauer Beobachtungen, die Akten noch nicht geschlossen. Varenius sprach von einem „motus incitatissimus", der in jener Enge herrsche [41], und auch Mühry hält dafür [42], dass die marinen Wärmeverhältnisse für eine aus dem Atlantik in den Pacifik sich ergiessende Strömung sprächen.

***) In unsere Karte haben wir auch einen kalten Strom eingezeichnet, der an den Westküsten Portugal's und Marokko's, resp. Senegambien's zu Tage treten soll. Dieser Strom ist hypothetisch; sein Dasein vermeinte Th. Fischer [44]

kalte Drift genau äquatorial nach Westen und ist bis zur Insel St. Paul hin als erkaltender Faktor zu verspüren. Ein zweiter Ast des Kap-Hoornstromes bleibt mit progressiver Verschmälerung der südamerikanischen Küste parallel, verschwindet aber gänzlich, noch ehe er Rio erreicht hat; die Bahnen der Treibprodukte und der antarktischen Eisberge sind charakteristisch für die Existenz dieser Falklandströmung [46]. Dieselbe drängt, ganz ähnlich, wie es der Labradorstrom bei'm Golfstrome macht, die brasilianische Strömung vom Festlande ab, und diese wieder bohrt sich mit ihrem Knie tief zwischen die beiden Aeste der Kap-Hoorndrift hinein. Von der Umbiegungsstelle ab heisst die Brasilienströmung — nach Rennell — Verbindungsstrom, und indem dieser in der Breite des Kaps nach Norden sich wendet, vollzieht sich die Vollendung des Kreislaufes, der annähernd durch die Inseln Tristan d'Acunha, St. Helena, Ascension und (das brasilianische) Trinidad markirt erscheint. Da wir die in der See südlich vom Vorgebirge der guten Hoffnung vor sich gehenden Bewegungen als dem indischen Ocean angehörig betrachten, so schliessen wir jetzt mit der Betrachtung der Strömungen im offenen Atlantik ab und werfen noch einen Blick auf dessen Rand- und Nebenmeere.

Von der Karaibenströmung war bereits die Rede. Es übrigt lediglich, nachzutragen, dass selbe Seitenströme gegen die Mississippimündung und, zwischen Kuba und Haiti hindurch, gegen die Bahama's entsendet. Die Strömungsverhältnisse des romanischen Mittelmeeres sind von denjenigen des freien Weltmeeres bis zu einem gewissen Grade abhängig. Durch die Strasse von Gibraltar geht nämlich ein aus der Rennellströmung stammender Zweigstrom in das mittelländische Meer hinein, der allerdings nur in der centralen Partie jener Meerenge klar ausgesprochen ist, an den Küsten dagegen durch entgegengesetzte Gezeitenströmungen abgelöst wird [47]. Von dieser Strömung war man naturgemäss bereits in sehr früher Zeit ganz gut unterrichtet, und mit Vorliebe grübelte man, wie Muncke's Bericht [48] darthut, über den Grund dieser Erscheinung nach, mit welcher man hypothetisch einen aus dem mittelländischen in das atlantische Meer sich ergiessenden Unterstrom in Verbindung brachte*). So wechselnd auch die Strömungen im Mittelmeer erscheinen, so ist ein Kreislauf der Gewässer dennoch unverkennbar. Längs der ganzen afrikanischen Nordküste hin geht ein Strom von West nach Ost, um sodann längs der syrischen Küste nordwärts, längs der kleinasiatischen westwärts zu verlaufen. Für das jonische und adriatische Meer liegen tiefgehende Forschungen von J. Wolf und Luksch vor [50]. Danach ist westlich von Corfu deutlich ein Zweig der allgemeinen Mittel-

---

aus meteorologischen Indicien und nicht zum wenigsten aus den feuchten Nebeln erschliessen zu sollen, welche nur zu oft über jenen Gegenden lagern und eine Plage des Seemannes bilden. Dass der emporgewirbelte Wüstensand auch das Seinige zur Verdunkelung der Atmosphäre beitrage, ward früher (S. 72 dieses Bandes) erwähnt, allein er allein vermag blos trockene Nebel hervorzubringen. Wir erfahren von Ruge, wie hinderlich sich dieses afrikanische Dunkelmeer den hochfliegenden Plänen des Infanten Heinrich erwies, indem es dessen Sendlinge von weiterem Vordringen abschreckte [45].

*) Hauptsächlich scheint der Slovene Popowitsch, ein Gelehrter von sehr eigenartigen Lebensschicksalen, sich um die Lösung dieser Fragen bemüht zu haben; leider ist das davon handelnde Werk [49] so gut wie unzugänglich.

meerströmung wahrnehmbar, der an der Insel Fanò eine Westablenkung erfährt und die Adria-Einfahrt kreuzt. Bei der Bocche di Cattaro findet die Vereinigung einer salzigen, den Golf von Drin durchkreuzenden und einer mehr süssen Strömung statt, welch' letztere an der albanesischen Küste herunterkommt. Die dalmatische Inselbarrière lässt nur einen Theil des geeinten Stromes hindurch, während ein zweiter Zweig nach Westen abgedrängt wird und bei'm Monte Gargano mit der in mehrfacher Abzweigung herankommenden istrischen Strömung sich verbindet. Aus dem schwarzen Meere dringt durch Bosporus und Dardanellen ebenfalls ein nicht unkräftiger Strom in den griechischen Archipelagus ein, und eine analoge Strömung verbindet im Durchgang von Kertsch das asow'sche mit dem schwarzen Meer*). Für die Ostsee ward das Strömungsbild am Ende des XVIII. Jahrhunderts von dem schwedischen Admiralitätsrath Nordenanker (1722—1804) entworfen [52], und Ackermann führt dessen Grundlinien schärfer aus [53]. Wir haben auseinanderzuhalten den auslaufenden — oder Ostsee-Strom, der schon im hohen Norden des bottnischen Busens sich geltend zu machen beginnt und wesentlich auf die im Verhältnisse zum Areale des Baltik ganz gewaltigen Süsswassermassen, die ihm zugeführt werden, sich zurückleiten lässt**), und den einfliessenden — oder Nordsee-Strom. Derselbe entstammt einer durch den Aermelkanal sich windenden Abgliederung des Golfstromes, der von der Doggersbank aus quer durch die Nordsee an die jütische Halbinsel vordringt, dieselbe bis über Skagen hinaus begleitet, dann im Kattegat abwechselnd unter dem auslaufenden Ostseestrome verschwindet und endlich an der norwegischen Küste wieder nach Osten abbiegt, um dann als schottisch-englische Küstenströmung den Kreislauf abzuschliessen. Die Hauptströmung der Nordsee ist dagegen eine Tiefen-(Unter-)Strömung, welche von dem seichten Skager-Rack einigermassen aufgehalten wird. Ihren weiteren Gang kennzeichnet Ackermann in folgender Weise [54]: „Sie verbreitet sich über die nördliche Hälfte der Nordsee bis zur Ostküste Grossbritannien's nördlich von Flamborough-Head; an ihrer Südgrenze bespült sie die Nordabhänge der Bänke zwischen den beiden Nordseehälften. Aus der nördlichen Hälfte der Nordsee gewinnt sie dann anscheinend einen Abfluss nach Süden, indem sie unter der oben erwähnten Küstenströmung längs Grossbritannien's Ostküste südlich fliesst und auf dem Grunde der tiefen Rinne der südlichen Nordsee in den Aermelkanal gelangt."

§. 5. **Die Strömungen der Südsee.** Der grosse Ocean ist ausgezeichnet durch seine gewaltige Aequatorialströmung, welche in

*) Auf K. E. v. Bär machte die unerwartete Stärke dieser Strömung solchen Eindruck, dass er aus derselben Kapital für seine bekannte Theorie der homerischen Oertlichkeiten Kapital schlagen zu können glaubte [51]; hierher sollen die Griechen die Ausströmung entweder des ganzen oder doch wenigstens eines Seitenarmes des die Erde umgebenden „Okeanos" verlegt haben.

**) Ueber die Fortsetzung des auslaufenden Stromes ist man nicht völlig im Klaren, wennschon Ackermann es für wahrscheinlich hält, dass derselbe nördlich von Bergen in die Seitengewässer des an der norwegischen Küste dahinziehenden Golfstromes einmünde.

einer beiläufigen Breite von fünfzig Graden und mit ziemlich gleicher Vertheilung zu beiden Seiten des Gleichers sich nach West bewegt. Eine Gegenströmung, die im westlichen Theile des Pacifik besonders fühlbar ist, läuft nördlich vom Aequator in entgegengesetzter Richtung und scheidet erstere dadurch in zwei Parallelstreifen [55]. Die Inselschwärme Polynesien's bringen Theilungen, Zerreissungen und Lokalströmungen von verschiedenem Charakter zuwege, wie sich diess auf unserer Karte bemerklich macht. Zwischen 20° und 26° lat. austr. gabelt sich die südliche Strömung; die Rosselströmung geht theils nach der Korallensee und der Torresstrasse, theils um Neu-Guinea herum, ein anderer Zweig erscheint als ostaustralische Strömung. Unmittelbar an der Ostküste Australien's bis gegen Tasmanien hin walten periodische Strömungen vor [56]. Im Südtheile des stillen Meeres begegnen wir zwischen 40° und 60° südlicher Breite einer Ostströmung, welche als Fortsetzung der durch Neuseeland nur theilweise aufgehaltenen und gespaltenen grossen Ostströmung aller südlichen Meere gelten muss. Dieser Strom erfährt, ehe er an die Westküste des südamerikanischen Festlandes gelangt, eine Zweitheilung*), in Folge deren ein gewaltiger Kaltwasserstrom um Kap Hoorn herumgesandt wird, um dort (s. §. 4) die Falklandströmung zu bilden. Der andere Theil wendet sich nordostwärts gegen Valdivia und Valparaiso. Man nennt diesen Strom Chilestrom und in seiner Fortsetzung Perustrom; der byzantinisch missbräuchliche Name Humboldtstrom (s. §. 2) verdient verworfen zu werden. Sehr genaue Nachrichten über diese Küstenströmung hat uns Hettner vermittelt [57]. Indem derselbe die sehr zerstreuten Beobachtungen eines Duperrey, Findlay, Kerhallet genau prüft und mit den theoretischen Annahmen anderer Gelehrter vergleicht, gelangt er zu einer befriedigenden Gesammtdarstellung. Wir vernehmen, dass die nördliche Strömung häufigen Unterbrechungen ausgesetzt ist, und dass die ganze Küstenströmung in hohem Maasse von den wechselnden Windrichtungen beeinflusst erscheint [58]. Eine im strengen Sinne polare Entstehung hat das kalte Wasser an der Westküste von Südamerika nicht, dazu ist es thermisch zu neutral, und ihre Kraft, die Temperatur herabzusetzen, beweist die Strömung erst bei ihrem Abschwenken nach Norden [59]. Bei Kap Blanco verlässt jene die südamerikanische Küste und geht — nach Th. Wolf [60] — bei den Galápagos in die ostwestlich gerichtete Aequatorialströmung über, während ein geringerer Arm bis zur Landenge von Darien der Küste nahe zu verbleiben scheint.

Der nördlich der Gegenströmung dahinfliessende Hauptast der pacifischen Aequatorialströmung entspringt ungefähr unter dem 20. nördlichen Breitegrade, bis über welchen hinaus ein an der californischen Halbinsel hinstreichender Zug kalten Wassers vordringt. Unter 10° Breite erfolgt die Umbiegung nach Westen, während andere Strahlen sich zwischen die quitensische Küste und den Küstenstrom einschieben.

*) Die angeblich bereits in dem Intervalle zwischen 120° und 110° westlicher Länge von Greenwich von dem polaren Hauptstrome sich abzweigende Seitenströmung, der sogenannte Mentorstrom, welchem von Labrosse eine nordöstliche Richtung angewiesen wird, ist, als zu unsicher, auf unserer Karte noch nicht zur Darstellung gebracht.

Die Nordränder der Hauptströmung sind wenig markirt. Westlich von den Marianen verengt sich die Strömung, welche zugleich eine leichte Direktion nach Norden erhält; unweit Formosa's strebt ein Theil direkt auf die japanesische Küste zu, ein zweiter geht in die chinesische See, und ein dritter biegt gegen die Pelew-Inseln hin ab. Jener zweite liefert jedoch nicht etwa eine ganz selbstständige chinesische Strömung, denn die Monsune lassen es zu einer solchen nicht kommen [61]. Weitaus am wichtigsten ist die japanesische Strömung oder der Kuro-Siwo*). Er biegt, wie wir sahen, bei Formosa und den Majico-Sima-Inseln nordwärts von der Aequatorialströmung ab, wendet sich mit Umkreisung der Lutschu-Inseln gegen Nordost, sendet Seitenströme in's gelbe und japanische Meer, deren Vorhandensein selbst noch an der Küste von Sachalin bemerkt wird, geht sodann zwischen den Inseln Ohosima und Kiusiu hindurch und fängt in dem Meridian von Tokio an, sich fächerförmig auszubreiten. Die östlichen Ausläufer dieses Fächers bilden den Tessanstrom [63], der einer Vereinigung mit der nördlichen Aequatorialströmung wieder entgegenstrebt. Die grosse Aehnlichkeit des Kuro-Siwo mit dem Floridastrom scheint zuerst von J. J. Wild [64] hervorgehoben worden zu sein; „a similar phenomenon," sagt er bei Besprechung des letzterwähnten, „occurring under similar conditions, may be observed in connection with the Kuro Siwo current." Wie trotz des Monsunspieles die Bildung eines nach jeder Hinsicht so typischen und relativ recht konstanten Meeresstromes erfolgen konnte, das klärte besonders Hoffmann (a. a. O.) auf, indem er darauf hinwies, dass der Nordostmonsun erheblich verstärkend auf die Aequatorialströmung wirkt, während in der Zeit des Südwestmonsuns zum Ersatze für letzteren ein aus der China-See vordringender Monsunstrom hinzutritt. Die Nordgrenze des Kuro-Siwo und des Tessanstromes bildet eine tiefe und kalte Beringsströmung, die aber nicht aus dem Eismeere zu stammen, sondern dem Berings-Meer eigenthümlich zu sein scheint [65]. Kalte Ströme durchfurchen das Meer längs beider Ränder der Halbinsel Kamtschatka, und auch die mandschurische Küste, bis hinab nach Korea, ist von einem solchen Strome umsäumt. Die Namen Kamtschatkastrom und Kurilenstrom charakterisiren an sich schon die Bewegungen in jenem Theile des nördlichen Pacifik zur Genüge.

Die Strömungen im australasiatischen Archipelagus sind nicht wohl zu klassificiren. Im Allgemeinen kann man nur sagen, dass einerseits die Monsune, andererseits die gestaltlichen Verhältnisse der Küsten von bestimmendem Einflusse sind [66].

§. 6. **Die Strömungen des indischen Oceanes.** Segelt ein Schiff von der Südspitze Amerika's hinüber nach derjenigen Afrika's, so bemerkt man bei vorgenommenen Messungen etwa bei'm 8. Grad östlicher Länge von Greenwich ein plötzliches Ansteigen der Wassertemperaturen; man ist in den Bereich des Agulhasstromes getreten; eine schmale Zunge indischen Wassers dringt hier bis in den Atlantik vor [67]. Nicht leicht anderswo im Meere ist ein Stromknie so scharf umgebogen. Dieser Strom weicht sodann, die kalte Ostströmung

*) Nach Hoffmann [62] richtiger „Kuro-Schio" = schwarzer Strom.

momentan durchbrechend, südlich aus und verliert sich in antarktischen Breiten, andererseits aber kann er als Glied der grossen indischen Aequatorialströmung aufgefasst werden. Dieselbe bewegt sich [68] im Gebiete des ständigen Südostpassates, jedoch in Grenzen und Durchmesser sehr veränderlich, von Ost nach West und theilt sich nahe bei Rodriguez in zwei Ströme, deren einer nach Réunion und Mauritius weiterzieht, während der andere in der Gegend von Kap Delgado die afrikanische Ostküste erreicht. Hier theilt sich dieser Strom abermals. Der eine Ast erstreckt sich nördlich bis zum Kap Guardafui, jedoch nur in günstiger Jahreszeit, denn der Nordwestmonsun ist im Stande, ihn östlich umzulenken und eine nördliche äquatoriale Gegenströmung daraus zu machen. Der andere Ast passirt als reissender Mozambiquestrom die Meeresstrasse westlich von Madagaskar und sendet später einen Theil seiner Wassermassen als Agulhasstrom nach Westen vor, während ein anderer Theil nach Osten abfliesst und so die südliche äquatoriale Gegenströmung bildet. Dieselbe wird späterhin durch einen kalten Strom gekreuzt, der sich von der allgemeinen antarktischen Strömung abtrennt und selbst den Wendekreis des Steinbockes noch überschreitet, doch sind auch an den australischen Küsten Spuren dieser Strömung wahrzunehmen, die aller Wahrscheinlichkeit nach auch noch Tasmanien und die Bass-Strasse in ihren Bereich zieht.

Der persische Golf [69], die Küsten Vorderindien's [70] und Hinterindien's [71] unterliegen durchaus Wechselströmen, welche der Halbjahrmonsun bestimmt. Es ist also nothwendig, für jedes abgegrenzte Seegebiet den Verlauf der Strömungen im Zusammenhalte mit der Folge der Jahreszeiten zu schildern, eine Aufgabe, deren Lösung von einem Lehrbuche nicht erwartet werden kann. Die Strömungen des rothen Meeres kennen wir aus einer Arbeit von Kropp [72]. Nordwestwinde pflegen eine Südostströmung, Südostwinde eine Nordweströmung auszulösen. Die Nordströmungen begünstigen die arabische, die Südströmungen die ägyptische Seite. Im Golf von Aden ist noch, neben den Monsunströmen, eine Nachwirkung der grossen indischen Aequatorialströmung zu verspüren [73].

§. 7. **Arktische und antarktische Strömungen.** Von den grönländischen und nordamerikanischen Polarströmungen ist bereits das Nöthige beigebracht worden, da dieselben sämmtlich in den Atlantik hineinreichen. Es übrigt aber die Verfolgung des Golfstromes in den arktischen Meeren. Wir sahen, dass ein Zweig derselben bis in die Baffins-Bay hinaufgeht, den Smith-Sund aber nicht erreicht (Kap. III. §. 6). Die Hauptarterie spaltet sich nordöstlich von Island, und zwar bespült ihr einer Ausläufer die Westküsten Spitzbergen's, während der andere anscheinend von Novaja Semlja aufgehalten wird*). Hören wir, was Petermann über den westlichen dieser beiden Aeste sagt [75]: „Ausschliesslich dem Golfstrome ist es zu danken, dass man mit solcher Leichtigkeit jedes Jahr bis 80° n. Br. gelangen kann . . .

*) Nach Hoffmeyer erstirbt im Winter die Golfstromwirkung bereits in ziemlich weit niedrigerer Polhöhe, als im Sommer, auf den sich wesentlich unsere Angaben beziehen.

In keinem einzigen anderen Gebiete der Erde im hohen Norden giebt es eine einzige ähnliche Stelle, wo man so weit gegen den Pol vorzudringen vermag" *). Erachtet man diesen Ausspruch als durch die Entdeckung von Franz-Josephs-Land antiquirt, so ist zu bedenken, dass wohl auch diese dem Golfstrome verdankt wird. Wenn wir den östlich von Spitzbergen aus zwei Theilströmen zusammenlaufenden Polarstrom überschreiten, welcher in die erwähnte Gabelung des Golfstromes einmündet, so befinden wir uns in dem südlichen Zweigstrome des letzteren, in dem von v. Middendorff [77] genau beschriebenen Nordkapstrome. Derselbe geht, kaum merklich abgekühlt, bei'm weissen Meere vorbei auf die karische Pforte los, wo der „Warjäg" im Juli Wassertemperaturen bis zu + 10° maass. Vom Meridian der Halbinsel Kanin aus wird er zum Kaninstrom, der nach Bessels eine Ausdehnung von vier Breitegraden gewinnen kann. Ein Seitenast läuft als eine schwache Strömung an der Westseite der Nordinsel von Novaja Semlja entlang. Glaskugeln von den Loffoten wurden an der Petschoramündung aufgefunden. Novaja Semlja wird nicht unmittelbar vom Golfstrome berührt; schwach, wie er hier schon ist, scheint er eine tiefe, sich quer vorlegende Thalfurche voll kalten Wassers nicht überwinden zu können. Die Verbreitung des Golfstromes im weissen Meere ist, wenn Grigorjew richtig aussagt [78], durch den nördlichsten Theil der trichterförmigen Mündung im Meere begrenzt, und aus diesem heraus geht ein kalte Strömung in der Richtung nach der Halbinsel Kanin; noch bei Koguljew aber verräth sich der Golfstrom noch durch Bläue, Wärme und hohen Salzgehalt.

Da man weiss, dass eisfreie Meeresstreifen — Polynja — sich allenthalben längs der sibirischen Nordküste hinziehen, so liegt die Annahme nicht ferne, dass zwischen den Mündungen des Ob und der Lena warme Strömungen vorhanden seien. Leipoldt hat fleissig die hiefür sprechenden Zeugnisse v. Wrangell's, Nordenskiöld's u. A. zusammengestellt [79], und es scheint uns diese Deutung der Polynja auch so einleuchtend, dass wir uns auf unserer Karte zu ihr bekannten. Anders denkt sich freilich Supan den Sachverhalt [80]: „Wenn auch im Spätsommer, wenigstens im September, eine eisfreie Rinne die Schifffahrt vom Jenissei bis zum Kap Tscheljuskin ermöglicht, so ist diess nur ein Werk der grossen sibirischen Flüsse, deren Gewässer nach dem Austritte in's Meer durch die Erdrotation nach Osten abgelenkt werden."

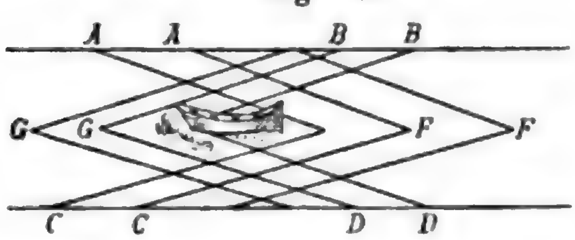
Von den Strömungen höherer südlicher Breiten wissen wir so gut wie nichts. Fest steht, dass ein Gürtel verhältnissmässig kalten Wassers, jene uns so oft begegnende antarktische Strömung, den Erdball mit geringen Unterbrechungen umgiebt. Aequatorial ist dieselbe nicht, auch polar ist sie nach Hettner (s. o.) nicht im strengsten Wortsinne, doch musste sie auf der Karte, die nur zweierlei Strömungs-

*) Die schwedischen Spitzbergen-Fahrer fanden bei Shoal Point unter den dort angeschwemmten Treibprodukten eine Bohne von Entada gigalobium, einer westindischen Hülsenfrucht [76]. Samen der nämlichen Pflanze ward von Kapitän Mack an der Nordküste von Novaja Semlja angetroffen. Uebrigens kommt in Spitzbergen auch Treibholz vor, das nur von den Mündungen der grossen sibirischen Flüsse nach jener Insel gelangt sein kann und durch eine warme, eislösende Strömung fortgeschafft worden sein muss.

formen kennt, wohl oder übel den polaren Strömungen zugerechnet werden, da ihre Wirkung doch mehr eine erkältende ist.

§. 8. **Hypothesen über das Entstehungsgesetz der Meeresströmungen.** Die Anzahl dieser Hypothesen ist eine grosse, und nicht jede einzelne davon ist eingehenderer Erörterung würdig, vielmehr wird eine gewisse Auswahl zu treffen sein. Hat doch ein Amerikaner Beebe sogar den Erdmagnetismus als Erklärungsgrund in Anspruch genommen [81]. Wenn wir bis auf das Kindesalter unserer Disciplin zurückgehen, so begegnen wir im Wesentlichen zwei Anschauungen: die eine denkt sich die Meeresströmungen als eine Folge der Erdumdrehung, die andere als Konsequenz einer Störung des thermischen Gleichgewichtes. Chorführer der ersteren Schule ist Kepler. „Experientia nautica," so äussert er sich in der „Epitome astronomiae Copernicanae" [82], „deprehensum est, difficilius et longiori temporis spatio navigari oceanum Africanum in orientem quam in occidentem, propterea quod is motu perenni ruat in occasum." Freilich hatte der grosse Astronom dabei nicht bedacht, dass zwar die Rotation auf jeden einmal bewegten Körper richtungverändernd einwirkt (S. 220 des ersten Bandes), dass sie aber von sich aus eine Bewegung nicht hervorzubringen vermag. Kepler's mechanische Kenntnisse durften sich mit diesem Erklärungsversuche zufrieden geben, während Kant, als er seine uns bekannte Theorie der Passatwinde auf die Meeresströme übertrug, gegen phoronomische Sätze von damals schon anerkannter Tragweite verstiess*). Lionardo da Vinci war vielleicht der Erste, der das Aufsteigen der Gewässer unter dem Einflusse der Tropenhitze und das dadurch bedingte Hineinströmen der polaren Fluthen in die entstandenen Hohlräume als den wahren Grund der in meridionaler Richtung vor sich gehenden Meeresströmungen ansah [84]. Wie unter dem Einflusse der Wärmewirkung einer bewegten Sonne überhaupt Strombewegungen zu Stande kommen könnten, resp. müssten, das hat Vossius in ganz origineller Weise zu erläutern gesucht [85]. AB und CD (Fig. 79) seien die geradlinigen und parallelen Uferlinien eines Kanales, in dessen Mitte ein Kahn von F nach G fortbewegt wird. Indem das Fahrzeug in das Wasser einschneidet, verdrängt es einen Theil desselben, der sich zu beiden Seiten anstaut und dadurch bewirkt, dass von G gegen F ein langsames Sinken des Niveau's eintritt. Das gestörte Gleichgewicht muss wieder hergestellt werden, und das geschieht dadurch, dass von A und C die Gewässer nach der Einsenkung bei F hinströmen. Ein analoger Vorgang finde nun auch

Fig. 79.



*) Allerdings legt Kant auf die „allgemeine Bewegung des Oceanes von Osten nach Westen", die von der Erdumdrehung herrühre, ein wesentliches Gewicht [83], und damit hat er Unrecht. Es will uns aber doch fast bedünken, als hatten die vielen Autoren, welche der Kant'schen Lehre Erwähnung thun, sich etwas zu oberflächlich mit ihr beschäftigt, denn wenn man tiefer in dieselbe eindringt, so begegnet man Gedanken, welche sich den von der Gegenwart gehegten Ideen überraschend nähern, wie sich gleich nachher zeigen wird.

in der Natur statt; „quamvis dispar sit causa solis, qui aquam facit intumescere, et cymbae, quae aquam prora sua propellit et attolit versus G, idem tamen est effectus.“ Die fortschreitende Sonne hebt die Wassermassen längs der Linie, in welcher eine durch ihre Bahn am Himmel gelegte Vertikalebene den Wasserspiegel schneidet, durch ihre wärmende Kraft empor und löst so eine Bewegung aus, ähnlich der vorhin geschilderten Wechselströmung des von einem Schiffskiele durchfurchten Kanalwassers. Dass die bekannten Strömungen nicht ohne ein ziemliches Aufgebot von Phantasie dieser einfachen Theorie angepasst werden können, lässt sich freilich denken.

Wenn, wie oben (in §. 2) bemerkt ward, unser thatsächliches Wissen von den Strömungen im Meere im Verlaufe des XVIII. Jahrhunderts keine grosse Bereicherung erfuhr, so darf man sich auch nicht darüber wundern, dass es mit dem Fortschritte in der Erkenntniss sich ähnlich verhielt. Sehr allgemein vertreten war die Ueberzeugung, dass die Ströme zur Ausgleichung der in Folge allzustarker Verdunstung einzelner Meeresräume sich ergebenden Niveaudifferenzen dienten*). Franklin dachte zuerst daran (s. o. §. 2), den Floridastrom als ein Ergebniss heftigen Windstau's (Kap. IV. §. 3) aufzufassen und überhaupt die Passatwinde zu den herrschenden Meeresströmungen in enge kausale Beziehung zu setzen.

Die Einseitigkeit und der Doktrinarismus, diese noch aus scholastischer Zeit überkommenen Hindernisse exakter Forschungsarbeit, fanden, soweit unser Gegenstand in Betracht kommt, einen energischen Gegner in A. v. Humboldt, der deutlich erkannte, dass man einem so komplicirten Phänomen gegenüber wohl kaum mit einer einzigen Erklärung ausreichen könne, dass vielmehr an verschiedene Ursachen zu denken sein werde. „Dahin gehören: die um die Erde fortschreitende Erscheinungszeit der Ebbe und Fluth, die Dauer und Stärke der herrschenden Winde, die durch Wärme und Salzgehalt unter verschiedenen Breiten und Tiefen modificirte Dichte und spezifische Schwere der Wassertheilchen, die von Osten nach Westen successiv eintretenden und unter den Tropen so regelmässigen stündlichen Variationen des Luftdruckes“ [87]. Das Folgende lehrt, dass das klare Auge Humboldt's bereits alle die Faktoren richtig erkannte, die möglicherweise bei der kausalen Begreifung des Wesens einer Meeresströmung in Betracht kommen können; Niemand wird es ihm zum Vorwurfe machen, dass er die einzelnen Momente noch als gleichberechtigt hinstellte und keine nähere Auswahl traf. Ein weit später aufgestellter Satz Carpenter's [88] lautet: Für die aus dem baltischen Meere kommenden Strömungen sind Höhen-, Salinitäts-, Temperatur- und Windströmungsunterschiede maassgebend. Diess ist

*) Namentlich die Gibraltarströmung bildete ein Kreuz für die Erklärer, da ja doch aus dem schwarzen Meere genug Wasser zugeführt werde, um erstere überflüssig zu machen. „Schon Kircher suchte diese Schwierigkeit durch Annahme unterirdischer Kanäle zu heben, die unter der Landenge zwischen Asien und Afrika vorhanden sein sollten. Halley und Buffon nahmen ihre Zuflucht zu der starken Verdunstung, die nach Popowitsch noch durch unterirdische Wärme verstärkt werden soll, Bergman aber findet durch Berechnung, dass der Spiegel des Meeres jährlich gegen 22 Fuss wachsen müsste, wovon nur 30 Zoll durch Verdunstung wieder abgehen würden“ [86].

im Wesentlichen ganz dasselbe Resultat, zu welchem auch der deutsche Forscher gekommen war.

Die Unterschiede der Dichte und der Salinitätsstufe schienen Maury in erster Linie Betracht zu verdienen. Das spezifisch schwerere kalte Wasser fliesst am Meeresgrunde vom Pole nach dem Aequator hin, während das leichtere warme, an der Oberfläche dahinfliessend, einen Kompensationsstrom bildet. „In studying the system of oceanic circulation," sagt der grosse Oceanograph [89], „I have found it necessary to set out with the very obvious and simple principle viz: that from whatever part of the ocean a current is found to turn, to the same part a current of equal volume is obliged to return." Diese Theorie enthält insofern einen richtigen Kern, als sie die Nothwendigkeit einer Cirkulation der Wassermasse betont, sie vergreift sich aber völlig bezüglich des Grundes, durch welchen zuerst die Bewegung eingeleitet werden sollte. Forchhammer und Buchanan haben uns (s. Kap. III. §. 9) überzeugt, dass die Dichtigkeitsschwankungen durchaus keine so beträchtlichen sind, als man früher annahm, und dass die grossen oceanischen Bewegungen denn doch auf minder winzige Unterschiede zurückzuführen sind.

Mit der durch die Anziehung von Sonne und Mond erregten Fluthwelle sollen nach der in einer besonderen Schrift [90] vertretenen Ansicht v. Schilling's auch die translatorischen Bewegungen des Meerwassers im Wesentlichen einerlei sein. Man hätte es demgemäss nicht sowohl mit der im vierten Kapitel betrachteten Fluthwelle, als vielmehr mit Gezeitenströmungen zu thun. Am Aequator, welcher den attraktiven Körpern näher ist, entsteht eine Fluthströmung, in höheren Breiten entsteht eine Ebbeströmung, der Ausgleich beider Gattungen von Strömungen soll unter einer Polhöhe von 30° vor sich gehen. Die Herstellung einer Konkordanz zwischen den Thathsachen und der auch mechanisch nicht unbedenklichen Hypothese kann nicht anders als sehr künstlich und gezwungen erfolgen.

Einen eigenartigen Gedanken hat der böhmische Mathematiker Blažek formulirt und durchzuführen gesucht [91]: sein kunstgerecht auferbautes System, welches man der Hauptsache nach als eine Verwerthung des Foucault'schen Pendelversuches (I. Band, S. 227) bezeichnen könnte, steht und fällt nur leider mit einem kinematischen Hülfssatze, dessen Unhaltbarkeit von Zöppritz [92] klar nachgewiesen worden*) ist. Blažek denkt sich einen ruhenden, kreisförmigen Wassercylinder von sehr kleinem Basisdurchmesser plötzlich über einem festen Punkte der Erde von der geographischen Breite β aufgehängt, unter ihm wird sich die Erde mit einer Geschwindigkeit $= W \sin \beta$, wo W die Winkelgeschwindigkeit der Erdkugel ist, hinwegdrehen, d. h. der Cylinder wird anscheinend eine Rotation mit entgegengesetztem Drehsinne erhalten. Dann heisst es weiter, dass für eine aus unzählig vielen solchen Elementarcylindern zusammengesetzte kreisförmige Röhre, deren jeder sich analog um seine Axe drehe, ganz das Nämliche sich ergeben würde; „in einem mit unseren idealen Cylindern erfüllten

*) Bei derselben Gelegenheit verurtheilt Zöppritz ein von Jarz [93] aufgestelltes System so entschieden, dass wir hier von demselben absehen zu dürfen glauben.

Becken welcher Gestalt immer werden sich geschlossene, der Erdrotation entgegengesetzte Strömungen bilden, deren Centra zwischen dem 30. und 35. Breitegrade liegen, wenn letzteres die geographische Lage des Beckens überhaupt zulässt" [94]. Nun stelle aber unsere Fig. 80 eine kreisförmige Schicht solcher äusserst dünner Cylinder vor, deren jeder im nämlichen Sinne, wie die Pfeile es anzeigen, um seine Längsaxe rotiren möge. Wenn wir einen Punkt A der Seitenlinie in's Auge fassen, längs welcher zwei solche Elementarcylinder einander berühren, so wirken auf diesen Punkt, wie man sieht, zwei gleiche und entgegengesetzte Bewegungen ein, der Punkt A und mit ihm die ganze Seitenlinie, ja das gesammte Cylindersystem bleibt in Ruhe. Die korrekte analytische Behandlung der Details hilft über diesen Grundmangel nicht hinweg.

Fig. 80.



Die thermische Cirkulation ist als das eigentliche Hauptmoment der Strombewegung zuerst von E. Schmid anerkannt worden [95]. In Deutschland hat in einer wenig beachteten, aber namentlich durch den Reichthum des gebotenen Materiales sehr schätzbaren Abhandlung [96] Baader alle bekannten Meeresströme auf Temperaturdifferenzen zurückgeführt. „Das in den Aequatorialgegenden stärker erwärmte und verdunstende Wasser zwingt das kältere, zur Herstellung des Gleichgewichtes sich zu ihm hinzubewegen. Da aber die Erwärmung nicht gleichzeitig in der ganzen heissen Zone stattfindet, sondern von Osten nach Westen täglich fortschreitet, so muss eben das kältere Wasser diesem Impulse folgen und mit physischer Nothwendigkeit jenen Kreislauf beschreiben, welchen wir in der That sehen" [97]*). Carpenter glaubte durch ein von ihm angegebenes Experiment den Nachweis geführt zu haben, dass wenigstens die Meridionalströmungen thermischer Natur seien [98], allein so belehrend jenes in seiner Art sein mag, so kann es doch für die wirklichen Verhältnisse keine Bedeutung beanspruchen**). Als der scharfsinnigste und umsichtigste Verfechter der Thermalhypothese muss aber gewiss Mühry gelten, dessen Werk [99] besonders dadurch eine Förderung der bisherigen Anschauungen bietet, dass nunmehr dem Oceane zweierlei fundamentale Cirkulationssysteme zugeschrieben werden: die longitudinale oder Rotations-Cirkulation und die latitudinale oder Thermal-Cirkulation. Erstere bestehe primär aus dem durch die Erdumdrehung ausgelösten Aequatorialstrom und aus zwei Antirotationsströmen, welche jenen zu beiden Seiten, in Halbkreisen zurückströmend, umgeben sollen, so dass das Sargasso-Meer ruhig zwischen ihnen eingebettet liege; die zweite Stromgattung zerfalle wiederum in zwei Unterarten, nämlich in die kälteren und schwereren Polarströmungen einerseits und in die wärmeren, leichteren, also

*) Offenbar wird durch Baader sowohl Vossius (s. o.), als auch der alte Lionardo da Vinci wieder zu Ehren gebracht.

**) Die in Carpenter's am einen Ende erwärmter, am anderen Ende abgekühlter Wasserwanne sich bewegenden Wassermassen tauchen unter und kommen wieder an die Oberfläche. Allerdings zeigen auch die Karten — die unsrige nicht ausgenommen — vorläufig ein solches Verhalten einzelner Meeresströmungen, allein die Lagrange'schen Bewegungssätze, die für stationäre Wasserbewegungen gelten, lassen ein derartiges Verhalten nicht wohl zu.

— in Maury's Sinne — kompensirenden Antipolarströmungen andererseits. Man erkennt leicht, dass Mühry's System der Dove-schen Konstruktion zweier entgegengesetzt gerichteter Strömungen in der Atmosphäre jeder Erdhalbkugel nachgebildet ist, allein wenn man auch, wie wir es thun, die Sache aus einem ganz anderen Gesichtspunkte betrachtet, so wird man doch aus der Mühry'schen Schrift Vieles lernen können. Krümmel ist auf die von Mühry vertretenen Ansichten mit einigen Modifikationen zurückgekommen [100]. Er nimmt zwei Ascendenzströme, den einen im nördlichen, den anderen im südlichen Atlantik an und lässt die Guineaströmung kompensirend die Lücke zwischen beiden ausfüllen. Die Rolle, welche dabei der Centrifugalkraft zugetheilt wird, scheint jedoch von dieser nicht gespielt werden zu können. — Die Thermalhypothese irrt nicht sowohl in ihrem Grundgedanken, der theoretisch ganz unangreifbar ist, wohl aber darin, dass sie die mechanische Leistungsfähigkeit der im Wasser entstandenen Wärmeunterschiede ganz ungeheuer überschätzt; diess wird durch die Rechnungen von Croll [101] zur Evidenz bekundet. Derselbe betrachtet ein gleichmässig tiefes Wasserbecken, dessen Länge mit derjenigen eines Erdquadranten übereinstimmt, und nimmt zwischen dessen beiden Enden einen Temperaturgegensatz von 30° an. Selbst in diesem doch gewiss sehr extremen Falle hat die entstehende Strömung eine Geschwindigkeit von unerwartet geringem Werthe, und damit ist für das konkrete Beispiel unserer Erde bewiesen, dass das Aufsteigen der kalten Bodenschichten am Aequator ein äusserst langsames, jedenfalls ein sehr viel langsameres sein würde, als es die Carpenter-Mühry-sche Lehre fordert. Neuere Untersuchungen von Haughton und Emerson Reynolds [102] haben Croll Recht gegeben, und Carpenter hat denn auch in der oben citirten Arbeit über Meeresstrassenströme seinen früheren Aufstellungen eine erheblich einschränkende Deutung gegeben.

Es liegt uns nun noch ob, von einzelnen Spezialuntersuchungen zu sprechen, welche nicht sowohl für eine generelle Theorie sämmtlicher Meeresströmungen, sondern mehr nur für die wichtigen Einzelphänomene die Grundlage zu legen beabsichtigen. Wir denken hier zunächst an die Arbeiten von Witte [103] über den „Cold wall“ (s. o. §. 4). Er denkt sich dieses kalte Zwischenwasser zwischen Golfstrom und Küste als von unten emporquellend und meint, die Axendrehung der Erde lenke die Golfstromgewässer in dem Sinne ab, dass dieselben keine horizontale Fläche mehr bildeten, sondern sich gegen die Küste hin dachförmig senkten. Die rechte, höhere Seite drücke nun stärker als die linke, niedrigere, und so werde das kalte Bodenwasser emporgepresst. Abgesehen von der Thatsache, dass die von der Rotation bewirkte Deviation hier nicht richtig interpretirt scheint — es begegnet uns die bereits bekämpfte Ansicht, dass Bewegungen im Parallelkreise keiner solchen Deviation unterlägen —, möchten wir Witte's Auffassung insbesondere auch die oben erwähnten Forschungsresultate der Amerikaner entgegenhalten, denen zufolge man sich von dem eigentlich gar nicht vorhandenen kalten Wall eine viel zu formalistische Vorstellung gebildet zu haben scheint.

Eine ganz besondere Stellung nehmen die durch Süsswasserzufuhr bedingten Küstenströmungen ein. Auf jener beruhen in

Verbindung mit periodisch wehenden Winden und mit der ablenkenden Kraft der Erdumdrehung, die uns bekannten Ausströmungen der Ostsee und die in dem oben (§. 4) angeführten Werk von J. Wolf und Luksch eingehend studirten sonderbaren Strömungsbewegungen der Adria. Durch Ekman [104] sind wir mit den den Flussmündungen eigenthümlichen Reaktionsströmungen (s. o. Kap. IV. §. 10) bekannt geworden, deren Namen Zöppritz [105] in Aspirationsströmungen umgewandelt sehen möchte. Wenn die Mündung eines Flusses trichterförmig gebildet ist, so tritt dessen Wasser als halbcylindrischer Strahl aus und in das Meer ein. An der Berührungsfläche zwischen Strom und ruhendem Wasser werden unaufhörlich Wassertheilchen mit fortgerissen, die eines Ersatzes bedürfen. Ein solcher kann aber nur dadurch geleistet werden, dass eine der Bewegung des Flusswassers entgegengesetzt gerichtete Meeresströmung sich am Boden hin nach innen bewegt. Auf diese Erscheinung wird künftig mehr, denn bisher, das Augenmerk beobachtender Geographen gerichtet sein müssen, die grossen Cirkulationsbewegungen der Weltmeere dagegen wird man mit Hülfe der Ekman'schen Ströme allein nicht zu erklären vermögend sein, da für deren Entstehung das Vorhandensein einer als Strahl bewegten Wassermasse unerlässliche Vorbedingung ist.

§. 9. **Erklärung der Meeresströme durch Luftadhäsion und Reibung.** Auf die Lehrmeinung, dass bewegte Luft, über eine Wasserfläche hinstreichend, dieselbe in Mitleidenschaft ziehe und in analoge Bewegung versetze, ist schon früher ein Streiflicht gefallen. „Wenn lang anhaltende Winde," sagt Kant ganz treffend [106], „nach Einem Striche gehen, so bewegen sich auch die Ströme, die durch sie verursacht werden, nach Einem Striche." Rennell, John Herschel, Croll, Laughton huldigten in England der Drifttheorie (s. o. §. 1), der sie jedoch einen allzu beschränkten Geltungsbezirk anwiesen [107]. Auch Muncke spricht sich [108] ganz sachgemäss darüber aus, dass es durchaus nichts Widersinniges habe, wenn man sich die Luft durch ihre Adhäsion an das Wasser dieses letztere mit sich fortziehend vorstelle. Allein viele Gelehrte konnten nicht mit den hergebrachten Anschauungen zusammenreimen, dass ein solcher Impuls von aussen auch noch in grösserer Tiefe einen nachhaltigen Effekt sollte hervorbringen können*), und so schien die Adhäsionstheorie auf schwachen Füssen zu stehen, bis sie durch ihre Verbindung mit der Lehre von der inneren Flüssigkeitsreibung plötzlich erstarkte und nun rasch in den Augen einer grossen Mehrzahl aller Fachmänner an die Spitze aller für das Phänomen der Meeresströmungen ausgesonnenen Hypothesen trat.

Die Anregung ist in einem wesentlich nach der Seite der theoretischen Hydrodynamik gravitirenden Aufsatze von Zöppritz [110] enthalten. Wir gedenken nicht im Detail auf die darin enthaltenen analytischen Deduktionen einzugehen, sondern heben nur den für uns besonders wichtigen Umstand hervor, dass sich darin ein Ausdruck entwickelt findet [111], welcher ein Maass für das Eindringen

*) Die Passate sollten nach einer freilich ungenauen Berechnung Findlay's [109] schon in einer Tiefe von etwa 10 m aufhören, sich geltend zu machen.

eines Oberflächenantriebes in die Tiefe im Verlaufe einer gewissen Zeit liefert. Es ergiebt sich nämlich nun der fundamentale Satz: Wird für die Einwirkung eines mit gleicher Stärke und in gleicher Richtung unaufhörlich wirkenden Windes auf eine Flüssigkeitsmasse ein hinreichend langer Zeitraum zur Verfügung gestellt, so ist kein Punkt der Tiefe vor dem schliesslichen Erreichtwerden durch jene Aktion geschützt. Wie diess zugeht, übersehen wir am besten an der Hand eines zweiten Aufsatzes von Zöppritz [112], in welchem die Betrachtungen seines Vorgängers in ein mehr elementares Gewand gehüllt erscheinen.

Wird eine durch zwei Parallelebenen von äusserst geringem Abstande begrenzte Menge einer tropfbaren Flüssigkeit, eine sogenannte Schicht, in einer selbst zu jenen Ebenen parallelen Richtung mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt, so erhält die ihr nächst anliegende Schicht, die mit der ersteren in molekularem Zusammenhange steht, ebenfalls einen Bewegungsimpuls, und zwar wird die aus diesem sich ergebende Geschwindigkeit für die zweite Schicht in dem Maasse wachsen, je länger die Bewegung der ersten Schicht andauert. Die Geschwindigkeit der zweiten Schicht nähert sich derjenigen der ersten mehr und mehr. Wie die erste auf die zweite, so wirkt diese zweite Flüssigkeitsplatte auf eine dritte, die dritte zieht eine vierte in Mitleidenschaft, und dieser Vorgang der Bewegungsübertragung findet erst dann sein Ende, wenn er die ganze Masse durchlaufen hat. Die von der Reibung ausgeübte beschleunigende Kraft ist unabhängig vom Drucke und proportional der Geschwindigkeitsdifferenz. Zwei benachbarte, d. h. nur durch den unendlich kleinen Abstand ξ von einander getrennte Schichten haben somit auch nur eine unendlich kleine Geschwindigkeitsdifferenz Δ, und man kann dann die durch die Flüssigkeitsreibung für die Flächeneinheit bedingte Beschleunigung dem Quotienten $\Delta : \xi$ proportional setzen. Um also die Gesammtbeschleunigung herzustellen, müssen wir diese Grösse noch mit einem Faktor f, mit dem Koefficienten der inneren Reibung, multipliciren. Da, wo die Flüssigkeit an eine Wand angrenzt, die irgend einem anderen Stoffe von sonst beliebiger Beschaffenheit angehören möge, tritt an die Stelle des obigen Faktors ein anderer, der Koefficient der äusseren Reibung. Durch die Bemühungen von O. E. Meyer [113], Obermayer [114], Haughton [115] u. A. sind die Werthe dieser Koefficienten für eine grosse Anzahl tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten bestimmt worden*).

Nun betrachte man einen gegebenen Meerestheil als eine zwischen zwei horizontalen Ebenen von unbegrenzter Ausdehnung eingeschlossene Wassermasse, deren unterste Schicht einer festen Wand anliegt, deren Oberfläche dagegen durch einen konstanten Dauerwind und durch die Adhäsion der Wassertheilchen an die bewegten Lufttheilchen in einen bestimmten Bewegungszustand versetzt werde. Wird auch, da der Wind einen Wellenschlag zuwege bringt, dieses ideale Verhältniss in Wirklichkeit nur annähernd erreicht, so ist doch diese Annäherung gerade für die wichtigste Erdgegend, für den Tropengürtel nahezu

*) Das Verhältniss des inneren Reibungskoefficienten zum äusseren ist der Gleitungskoefficient der Flüssigkeit bezüglich der abschliessenden Wand [116].

vollständig erreicht. Gesetzt nun, die Oberflächenschicht habe sich seit unendlich langer Zeit ganz genau in dem nämlichen Bewegungszustande befunden, dann ist der Bewegungszustand für die Gesammtmasse der Flüssigkeit ein stationärer (s. o. §. 1) geworden, und die Geschwindigkeitsabnahme ist der Zunahme der Tiefe proportional, um am Grunde den Werth Null zu erhalten. Die Grösse des Reibungskoefficienten ist in diesem Falle irrelevant; einem unendlich grossen Zeitraum gegenüber ist die beweglichste Flüssigkeit ebenso machtlos, wie die zähflüssigste. Anders stellt sich die Sache natürlich, sobald man mit endlichen Zeiten rechnet. Den Reibungskoefficienten des Meerwassers = 0,0144 gesetzt, bringt man heraus, dass nach 239 Jahren die halbe Oberflächengeschwindigkeit bis zu 100 m eingedrungen ist. „Ist die Geschwindigkeit der Oberfläche mit der Zeit periodisch veränderlich, wie diess alle von Jahreszeiten und Tagesstunden abhängigen Winde sind, so wird, nachdem dieser periodische Zustand eine unendlich lange Zeit hindurch geherrscht hat, die Geschwindigkeit in jeder Tiefe eine periodische Funktion der Zeit von gleicher Periode, aber mit nach abwärts schnell abnehmender Amplitude der Veränderlichkeit und verzögertem Eintritte der Maxima und Minima“ [117]. Kurz zusammengefasst können wir also das Facit der von Zöppritz angestellten Betrachtungen dahin ziehen: Momentane, wenn auch noch so heftige Gleichgewichtsstörungen der Oberfläche pflanzen sich so gut wie gar nicht abwärts fort*), periodische erlahmen sehr bald, Dauerbewegungen aber setzen sich bis in beliebige Tiefen fort. Demnach ist auch die grösste Mächtigkeit einer Meeresströmung in vertikaler Ausdehnung durchaus nicht als Gegen-Argument anzusehen.

§. 10. **Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung.** Soweit bis jetzt eine exakte Vergleichung dieser Art durchgeführt worden ist, hat sich eine höchst erfreuliche Uebereinstimmung ergeben. Die Hoffmann'sche Monographie widmet sich dieser selbst gewählten Aufgabe mit dem grössten Eifer. Der Autor betont aber, dass neben dem primären Einfluss der stetigen Winde auch noch zwei andere Umstände in Betracht zu ziehen seien: die Konfiguration der Meeresbecken [119] und die Erdrotation [120], welch letztere als für eine einmal bestehende Strömung bedeutungsvoll bereits früher erwähnt ward. Das sich einer ankommenden Strömung entgegenstellende Land giebt Anlass zu jenen Stromtheilungen und Stromverzweigungen, deren mehrere auf unserer Karte dem Auge begegnen, deren wissenschaftliche Erklärung aber erst seit den Veröffentlichungen von Zöppritz [121] auf ganz festen Füssen steht.

---

*) Diesen Umstand hat man mehrfach falsch aufgefasst. Einem besonders auffallenden Missverständnisse begegnen wir bei Eichler [118], der die Resultate von Zöppritz vollkommen fälschlich auffasst und das Wehen eines Orkanes mit dem Wehen eines Dauerwindes vollständig verwechselt. Das wichtige Ergebniss der neueren Strömungstheorie besteht eben in der Aufdeckung des tief gehenden Unterschiedes zwischen den minimalen Dauerwirkungen auch der allerheftigsten Momentanbewegungen und zwischen den dem Maximum zustrebenden Dauerwirkungen an sich ganz schwacher, dafür aber kontinuirlich sich bethätigender Impulse.

Wenn ein mit gleichförmiger Geschwindigkeit fliessender Strom aus unendlicher — d. h. in der Anpassung an konkrete Fragen aus sehr grosser — Entfernung an eine vertikal ihm entgegenstehende Wand trifft, so geht er, wie schon G. Kirchhoff fand, in zwei der Wand parallele Ströme aus einander, welche je die halbe Breite des ursprünglichen Stromes erhalten. Umgekehrt vereinigen sich zwei längs einer Wand sich einander nähernde Ströme schliesslich zu einem senkrecht von jener Wand fortfliessenden Strome, dessen Breite, wenn auch nicht sofort, dem Doppelten der Breite jedes einzelnen Stromes gleichkommt. Doch wird, wie Zöppritz bemerkt [122], das Zustandekommen regelmässiger Stromfiguren meist dadurch gehindert, dass die Küstenwand nicht senkrecht, sondern geböscht aus der See emporsteigt. Hoffmann erörtert (a. a. O.) auch den Fall eines schiefen Stosses bei vertikalem Hinderniss*). Die uns aus §. 4 und 5 bekannten Aequatorialgegenströme finden ihre Erklärung als rücklaufende Strömungen der in den Passatströmungen durch die Ostküsten der Kontinente erzeugten Verzweigungen. Dass die Erdumdrehung Deviationen der Ströme bewirken muss, ist uns aus dem ersten Bande (S. 226) bekannt.

Ausgerüstet mit diesen Hülfsmitteln, schickt sich nun Hoffmann an, die einzelnen Strömungen individuell zu prüfen. So findet er z. B., dass die Guineaströmung durch gewisse periodische Südwestwinde bedingt ist, dass aber ihre Rechtsablenkung auf Rechnung der Erdrotation kommt [129]. Der Südäquatorialstrom bewegt sich neben hin [130] ganz entsprechend dem Zöppritz'schen Satze [131], dass zwei parallel derselben Geraden in entgegengesetzter Richtung fliessende Ströme sich nicht im Geringsten gegenseitig zu stören brauchen. Das Abbiegen der Strömung von Peru gegen Nordwesten musste einerseits wegen der Küstenform, andererseits wegen des hier ganz besonders deutlich — nach Coffin-Wojeikoff [132] — sich aussprechenden Passates erfolgen [133]. Besonders bedeutsam werden Hoffmann's Aufklärungen für die aus dem hohen Norden kommenden Strömungen, denn diese können sonst als der schwache Punkt der Adhäsionstheorie erscheinen. In Julien's wegen mannigfacher Excen-

---

*) Der schiefe Stoss einer bewegten Flüssigkeit gegen einen unbeweglichen festen Körper — und ebenso derjenige einer ruhenden Flüssigkeit gegen einen in ihr sich fortbewegenden festen Körper — steht seit mehr denn 100 Jahren als ein schwieriges Problem auf der wissenschaftlichen Tagesordnung. Smeaton [123], v. Gerstner [124], v. Langsdorff [125], Lorgna [126], vor Allem auch Beaufoy, von dessen zahlreichen Arbeiten nur das Hauptwerk citirt sein möge [127], haben die Frage studirt. Nach v. Langsdorff soll die Stosskraft dem Quadrat des Sinus des Einfallswinkels proportional sein, und von dieser Annahme geht auch Hoffmann (a. a. O.) aus, wogegen Heinemann [128], in Uebereinstimmung mit Scheffler und Bidone, die zweite Potenz durch die erste ersetzt wissen will. — Wenn also ein Wasserstrom unter dem Winkel α auf eine Vertikalebene trifft, so wird, den Druck des rechtwinkligen Stosses zur Einheit genommen, der Druck auf die gestossene Fläche $\sin^2 \alpha$, falls das Wasser nach beiden Seiten hin ausweichen kann, dagegen $2 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}$, wenn dem Wasser nur nach der Einen Seite hin der Abfluss ermöglicht ist. Der auftreffende Strom wird sonach vornämlich nach der Seite des stumpfen Winkels hin ausweichen, doch wird der Theorie nach auch der spitze Nebenwinkel nicht leer ausgehen, was denn auch durch die Beobachtung bestätigt zu werden scheint.

tricitäten nicht eben brauchbarem Werke [134] kommt z. B. der für jene Zeit ganz berechtigte Einwurf vor, ob man denn z. B. die Labradorströmung auch blos als Winddrift definiren könne [135]. In der That ist auf diesem Punkte noch Manches zu thun, denn Mohn's Ansicht, dass der Labradorstrom eine Aspirationserscheinung im Sinne Ekman's (§. 9) sei, ist nach Nordenskiöld nicht aufrecht zu erhalten [136]; auch die „Golfstromdrift" längs Skandinavien bietet ihrer eigenartigen Salinitätsverhältnisse halber [137] der Erklärung Schwierigkeiten. Dagegen gelingt Hoffmann [138], in Anlehnung an Dall's Spezialuntersuchung [139], sehr gut die Deutung der oft ziemlich verwickelten Strömungsverhältnisse des Berings-Meeres. „Wir erhalten für den nördlichsten Theil des nördlichen stillen Oceanes das Bild einer Strombewegung im cyklonalen Sinne um ein über diesem Gebiete lagerndes Minimum" [140].

Dass ein so schwieriges Problem, wie dasjenige der Meeresströmungen, noch ungeklärte und dunkle Punkte enthält, ist ebensowenig zu leugnen, wie zu verwundern. Auch an den herrschenden Ansichten werden, wie Krümmel andeutet [141], noch Korrektionen aller Art anzubringen sein, allein davon glauben wir überzeugt sein zu dürfen: Principiell wird an der von Zöppritz und Hoffmann begründeten Theorie der fortschreitenden Bewegung des Meerwassers nicht mehr gerüttelt werden*).

[1] P. Hoffmann, Zur Mechanik der Meeresströmungen an der Oberfläche der Oceane; eine Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung, Berlin 1884. S. 1. — [2] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 6. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1837. S. 1757. — [3] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 3. — [4] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877. S. 437. — [5] Ruge, Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen, Berlin 1881. S. 114. — [6] Ibid. S. 502. — [7] Kircher, Mundus subterraneus, tomus I., Amstelodami 1678. S. 134. — [8] Kohl, Geschichte der atlantischen Strömungen, (Berliner) Zeitschr. f. Erdkunde, 1861. S. 330 ff. — [9] Vossius, De motu marium et ventorum liber, Hagae Comitum 1663. — [10] Ibid. S. 1 ff. — [11] Ibid. S. 4 ff. — [12] Ibid. S. 8 ff. — [13] Fournier, Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation, Paris 1643. S. 478 ff. — [14] J. Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 490 ff. — [15] Franklin, Letter containing sundry maritime discoveries, Transact. of the Amer. phil. society, Vol. II. S. 315 ff. — [16] Rennell, An investigation ot the currents of the Atlantic ocean, London 1832. — [17] Krümmel, Die äquatorialen Meeresströmungen des atlantischen Oceanes und das allgemeine System der Meerescirkulation, Leipzig 1877. S. 13 ff. — [18] J. J. Wild, Thalatta; an essay on the depth, temperature and currents of the ocean, London 1877. S. 57. — [19] Hann, Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. S. 126. — [20] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 25 ff. — [21] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. Tafel 15. — [22] Currents and surface temperatures of the North Atlantic ocean from the equator to lat. 40° N., published by the authority of the meteorological committee, London 1872. — [23] Koldewey, Die äquatorialen Strömungen des atlantischen Meeres, Ann. d. Hydr. u. marit. Meteorol., 3. Jahrgang. S. 133 ff. S. 166 ff. — [24] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie. 1. Band. Wien 1883. S. 478 ff. — [25] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 28 ff. S. 51 ff. — [26] Krümmel, Die atlantischen Meeresströmungen, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 4. Jahrgang. S. 153. — [27] Ibid. S. 157. — [28] Hoffmann, Zur Mechanik etc.,

*) Auch bei den nachweislich durch Niveauunterschiede bedingten, durch die Gezeiten modificirten Strömungen, die im Suez-Kanal vom rothen nach dem mittelländischen Meere gehen, spielen die Südwinde nach Lemasson [142] eine entscheidende Rolle.

S. 34. — [29] Ibid. S. 38. — [30] Krümmel, Die atlant. etc., S. 158. — [31] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 52. — [32] Der Golfstrom nach den neuesten amerikanischen Forschungen, Zeitschr. f. Schulgeogr., 4. Jahrgang. S. 271 ff. — [33] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 54. — [34] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1884. S. 67. — [35] Croll, On ocean currents, London 1870. — [36] Jeffreys-Carpenter, The „Valorous"-Expedition, London 1876. S. 230 ff. — [37] Irminger, Die Temperatur im nördlichen atlantischen Meere und der Golfstrom, Petermann's geogr. Mittheil., 1870. S. 245. — [38] Handbuch etc., S. 493. — [39] Ibid. S. 496. — [40] Krümmel, Die atlant. etc., S. 209 ff. — [41] Varenius, Geographia generalis, ed. Newton, Cantabrigiae 1681. S. 119. — [42] Mühry, Die Frage einer Meeresströmung in der Magallanes-Strasse, Petermann's geogr. Mittheil., 1879. S. 25. — [43] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 32. — [44] Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer, Ergänzungsheft Nr. 58 zu Petermann's Mittheil., Gotha 1879. S. 25. — [45] Ruge, Geschichte etc., S. 87 ff. — [46] Krümmel, Die atlant. etc., S. 213. — [47] Handbuch etc., S. 494. — [48] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band, 3. Abtheil., S. 1768 ff. — [49] Popowitsch, Untersuchungen vom Meere, Leipzig und Frankfurt 1750. — [50] J. Wolf-Luksch, Physikalische Untersuchungen im adriatischen und sicilianisch-jonischen Meere, Wien 1881. — [51] v. Bär-Stieda, Ueber die homerischen Lokalitäten der Odyssee, Braunschweig 1878. — [52] Nordenanker, Die Strömungen der Ostsee, Stockholm 1792. — [53] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. S. 133 ff. — [54] Ibid. S. 139. — [55] Handbuch etc., S. 518. — [56] Ibid. S. 520. — [57] Hettner, Das Klima von Chile und Westpatagonien, 1. Theil, Bonn 1881. S. 37 ff. — [58] Ibid. S. 48. — [59] Ibid. S. 51. — [60] Th. Wolf, Bemerkungen über die Galápagos-Inseln, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 6. Band, S. 245. — [61] Handbuch etc., S. 524 ff. — [62] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 57. — [63] Handbuch etc., S. 527. — [64] Wild, Thalatta, S. 66. — [65] Handbuch etc., S. 529. — [66] Ibid. S. 522. — [67] Krümmel, Die atlant. etc., S. 217 ff. — [68] Handbuch etc., S. 500 ff. — [69] Ibid. S. 509 ff. — [70] Ibid. S. 512 ff. — [71] Ibid. S. 516 ff. — [72] Kropp, Beitrag zu den Segelanweisungen und zur physikalischen Geographie des rothen Meeres, Berlin 1872. — [73] Handbuch etc., S. 508. — [74] Supan, Grundzüge etc., S. 165. — [75] Petermann, Der Golfstrom und der Standpunkt der thermometrischen Kenntniss des nordatlantischen Oceanes und Landgebietes, Geogr. Mittheil., 1870. S. 242. — [76] Torell-Nordenskiöld, Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland, deutsch von Passarge, Jena 1869. S. 171. — [77] v. Middendorff, Der Golfstrom ostwärts vom Nordkap, Petermann's geogr. Mittheil., 1871. S. 25 ff. — [78] Grigorjew, Temperatur und Dichtigkeit des Wassers in dem murmanischen und dem weissen Meere, Mittheil. d. kais. russ. geogr. Ges., 14. Band. S. 327 ff. — [79] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band. S. 70 ff. — [80] Supan, Grundzüge etc., S. 165. — [81] Beebe, The dense water of the ocean, its rivers and its currents, Battle Creek 1883. — [82] Kepleri opera omnia, ed. Frisch, Vol. VI., Francofurti et Erlangae 1866. S. 180. — [83] Kant's Schriften, ed. Schubert, S. 490. — [84] Venturi, Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonard da Vinci, Bologne 1797. — [85] Vossius, De motu etc., S. 9 ff. — [86] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band, 3. Abtheil., S. 1768. — [87] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1845. S. 326. — [88] Carpenter, Ocean circulation, Nature, Vol. XXII. S. 217 ff. — [89] Maury, Explanation and sailing directions, Washington 1852. S. 46. — [90] v. Schilling, Die beständigen Strömungen in der Luft und im Meere, Berlin 1874. — [91] Blažek, Entwurf einer Theorie der Meeresströmungen, Prag 1876. — [92] Zöppritz, Recension hiezu, Gött. Gel. Anz., 1878. S. 513 ff. — [93] Jarz, Die Strömungen im nordatlantischen Ocean mit besonderer Rücksicht des Golfstromes, Leipzig 1877. — [94] Blažek, Entwurf etc., S. 18. — [95] E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1860. S. 461 ff. — [96] Baader, Ueber die tägliche successive Erwärmung der Oceane durch die Sonne als Ursache der äquatorialen Meeresströmungen, Ber. d. Senckenberg'schen naturf. Gesellschaft, 1875. S. 124 ff. — [97] Ibid. S. 146. — [98] Das Problem der Meeresströmungen, Gaea, 15. Jahrgang. S. 32 ff. — [99] Mühry, Ueber die Lehre von den Meeresströmungen, Göttingen 1869. — [100] Krümmel, Die äquat. etc., S. 40 ff. — [101] Croll, Climate and time, London 1875. S. 119. — [102] Haughton-Emerson Reynolds, Experiments to determine the „drag" of water upon water at low velocities, Proceedings of the royal Irish Academy, 23. Febr. 1880. — [103] Witte, Die Meeresströmungen, Pless 1878. S. 15 ff.; Zur Theorie der Meeresströmungen, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 51 ff. — [104] Ekman, On the general causes of the ocean-

currents, Nova acta reg. soc. scient Upsal., (3) Vol. X. fasc. 1. — [105] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrb., 8. Band, Göttingen 1880. S. 163. — [106] Kant's Schriften, S. 493. — [107] Krümmel, Die äquat., etc., S. 32 ff. — [108] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 6. Band. 3. Abtheil., S. 1758. — [109] Findlay. A directory for the navigation of the pacific ocean, Vol. II., London 1851. S. 1238. — [110] Zöppritz, Hydrodynamische Probleme in Beziehung zur Theorie der Meeresströmungen, Ann. d. Phys. u. Chem. (2) 3. Band. S. 582 ff. — [111] Ibid. S. 588. — [112] Zöppritz, Zur Theorie der Meeresströmungen, Gaea, 14. Jahrgang. S. 515 ff. — [113] O. E. Meyer, Zur Theorie der inneren Reibung Journal. f. d. reine u. angew. Math., 78. Band. S. 130 ff.; 80. Band. S. 315. — [114] Obermeyer, Versuche zur Bestimmung der Abhängigkeit der inneren Reibung der Gase von der Temperatur. Tagebl. d. 48. Naturforschervers., Graz 1875. S. 95. — [115] Vgl. [102]. — [116] Bohn. Ergebnisse physikalischer Forschung, Leipzig 1878. S. 170. — [117] Zöppritz. Zur Theorie etc., S. 518. — [118] Eichler, Die Gezeiten, Zeitschr. f. d. Realschulwesen, 5. Jahrgang. S. 402. — [119] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 6 ff. — [120] Ibid. S. 9 ff. — [121] Zöppritz, Hydrodynamische Probleme etc., Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 6. Band. S. 599 ff.; Ueber Stromtheilung und Zusammensetzung, Gaea, 15. Jahrgang. S. 340 ff. — [122] Ibid. S. 343. — [123] Smeaton, An experimental inquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills and other machines, depending on a circular motion, Phil. Transact., 1759. S. 100 ff. — [124] v. Gerstner, Theorie des Wasserstosses in Schussgerinnen, Prag 1795; Mechanische Theorie der oberschlachtigen Wasserräder, ibid. 1811. — [125] v. Langsdorff, Ausführliches System der Maschinenkunde, 1. Band, Heidelberg 1826. S. 245 ff.; Lehrbuch der Hydraulik, mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung, Altenburg 1794. Kap. XIV. — [126] Lorgna, Sperienze idrauliche, Torino 1771. — [127] Beaufoy, Nautical and hydraulic experiments with numerous scientific miscellanies, London 1834. — [128] Heinemann, Die Rationaltheorie der Bewegung des Wassers als Lehrbuch der Hydrodynamik und für den praktischen Gebrauch des Hydrotekten auf vollständig neuen Grundlagen bearbeitet, Hagen 1872. S. 248. — [129] Hoffmann. Zur Mechanik etc., S. 33. — [130] Ibid. S. 36 ff. — [131] Zöppritz, Hydrodyn. Probl., Ann. d. Phys. und Chem., (2) 3. Band S. 605. — [132] Coffin, The winds of the globe, Washington 1875. S. 708. — [133] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 72. — [134] Julien, Courants et revolutions de l'atmosphère et de la mer comprenant une théorie nouvelle sur les déluges périodiques, Paris 1860. — [135] Ibid. S. 132. — [136] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 90. — [137] Tornöe, Ueber den Salzgehalt des Wassers im norwegischen Nordmeere, Wien 1880. — [138] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 82 ff. — [139] Dall, Report on the currents and temperatures of the Beringsea, United States coast survey report for the year 1880; Hydrologie des Beringsmeeres und der benachbarten Gewässer, Petermann's geogr. Mittheil., 1881. — [140] Hoffmann, Zur Mechanik etc., S. 85. — [141] Krümmel, Recension hiezu, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 5. Band. S. 126 ff. — [142] Lemasson, Régime des eaux dans le canal maritime de Suez et à ses embouchures. Compt. rend. de l'ac. franç., Vol. LXXXVII. S. 142. S. 155.

Kapitel VI.

Das Eis des Meeres.

§. 1. **Die Entstehung des Meereises.** Noch bis an die Grenze unseres Jahrhunderts galt bei den Physikern und Geographen das Dogma: Aus Meerwasser bildet sich kein Eis. Wisotzki [1] und Horner [2] führen verschiedene klassische Zeugen dafür an, dass dieser Punkt gar nicht angezweifelt wurde; Buffon, Lomonossow, Higgins, Parrot, in erster Linie aber Cook und R. Forster [3], vertraten diese Ueberzeugung. Man hatte wahrgenommen, dass geschmolzenes Polareis nicht Salzwasser, sondern süsses Wasser lieferte,

und daraus glaubte man folgern zu müssen, „dass das Eis nur an den Küsten, am Abhange der Inseln und Kontinente und an den Mündungen der Flüsse sich bilde, weil salziges Wasser nur salziges Eis liefern könne.“ Da man nun doch im Pacifik so häufig auf Eis stiess, so suchte man nach einem „Stützpunkt“ der dortigen Eisbildung und fand denselben in jenem hypothetischen Australkontinent, dessen Entstehungsgeschichte wir im ersten Kapitel dieser Abtheilung darzulegen versuchten. Heute weiss man im Gegentheile, dass auch das Seewasser gefrieren kann und von dieser seiner physikalischen Eigenschaft einen recht ausgedehnten Gebrauch macht. Allerdings sind die mit dem Gefrieren verbundenen chemischen Processe keine so ganz einfachen, wie man zuerst annahm. Es wird nach Saporta [4] nicht etwa das gefrierende Meerwasser einfach in reines Wasser und in eine mehr oder minder koncentrirte Salzlösung zerlegt, sondern beide Produkte des Zerlegungsvorganges, das feste, wie das flüssige, sind salzig, wennschon in ihrer chemischen Zusammensetzung verschieden, der erstere Bestandtheil ist nämlich reicher an Sulphaten und der andere („la saumure“) reicher an Chlorüren. Das Eis giebt die letzteren mehr und mehr ab, während es die ersteren beibehält, und zwar vollzieht sich diese Abgabe ganz allmählig unter dem Einflusse der Temperaturschwankungen*).

Dem Gefrieren pflegt ein Phänomen vorherzugehen, welches — obwohl auch den Binnengewässern nicht fremd — gleichwohl auf dem offenen Meere weit bestimmter hervortritt und dem Seefahrer sehr unangenehm werden kann, nämlich der sogenannte Frostrauch [8]. Derselbe entsteht in hohen Breiten gemeiniglich dann, wenn die Luft bereits eine weit intensivere Durchkältung erfahren hat, als das einer grossen Wärmekapazität sich erfreuende Meer; heftiger Wind, Seegang und Meeresströmungen wirken befördernd auf die Dampfbildung. Nach Mitchell und Albers [9] soll die Differenz in den Temperaturen von Salzwasser und Luft einerseits und von Süsswasser und Luft andererseits resp. im Minimum 14,4 und 10,6 Grade betragen müssen, wenn Frostrauchbildung stattfinden soll.

§. 2. **Allgemeine Eigenschaften des Meerwassereises.** Vom Gefrieren und vom Dichtigkeitsmaximum des Seewassers handelte bereits unser drittes Kapitel ziemlich eingehend. Wir brauchen hierauf also nicht weiter mehr unsere Aufmerksamkeit zu richten und wollen nur bemerken, dass dem Meerwasser die Fähigkeit der Ueberkühlung mit dem Süsswasser gemein ist. Bei vollkommener Windstille vermag das seichte Küstenwasser, welches, wie wir früher sahen, zwischen

*) In seiner uns aus Kap. III bekannten Arbeit über Ausdehnung des Seewassers stellte Zöppritz u. a. auch fest [5], dass die Salzausscheidung erst gerade im Momente des Ueberganges aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand sich vollzieht. Von einigen anderen, hierher gehörigen Untersuchungen berichtet v. Boguslawski [6]. Nach Buchanan kommt, was ja auch mit den Erfahrungen von Peterson [7] und Saporta (s. o.) stimmt, das Salz im Seewassereis nicht blos als Soole, sondern auch als krystallinische Substanz vor, und was der englische Chemiker für das antarktische Eis ermittelt hatte, das fand Weyprecht für das arktische bestätigt. Sowie das Eis eine gewisse Dicke erreicht hat, hört diesem scharfen Beobachter zufolge das Einfrieren von Salz nahezu ganz auf, während die eingefrorene Salzsoole in Form von Eisnadeln krystallisirt.

— 2° und — 3° gefrieren sollte, eine ziemlich viel niedrigere Temperatur anzunehmen und dabei doch tropfbar-flüssig zu verbleiben. Die Wassertheilchen befinden sich aber alsdann in einem ganz labilen Gleichgewichtszustande, und es genügt eine so geringe Störung, wie sie z. B. ein Ruderschlag bewirkt, um ein plötzliches Gefrieren der gesammten Wassermasse bis zum Grunde zu veranlassen. Für die Seefischerei ist diess nicht ohne Bedeutung.

Die Ausdehnungsverhältnisse des Meereises sind neuerdings von Peterson (s. o.) und Saporta [10] zum Gegenstande eines besonders eingehenden Studiums gemacht worden, nachdem die Bestimmungen früherer Forscher nicht die wünschbare Uebereinstimmung ergeben hatten. Der lineare Ausdehnungskoefficient des Meerwassers ward von H. Schumacher gleich 0,00006424, von Porth gleich 0,00006387, von Moritz gleich 0,00006469, der kubische*) ward von Brunner gleich 0,000113, von Geissler und Plücker $> 0{,}000153 < 0{,}000170$ gesetzt. Bei Anwendung von Peterson's Dilatometer ergab sich, dass die Ausdehnung durchaus keine gleichmässige sei, dass vielmehr bei —0°,35 eine Anomalie sich geltend mache. Folgende Tabelle giebt darüber zureichenden Aufschluss:

Temp.	Kub. Ausdehn-koeff.	Temp.	Kub. Ausdehn-koeff.	Temp.	Kub. Ausdehn-koeff.
— 0°,02	— 0,......	— 0°,25	— 0,001663	— 2°,05	+ 0.000170
— 0°,03	— 0,096685	— 0°,35	— 0.000361	— 3°,05	+ 0.000170
— 0°,05	— 0.036387	— 0°,55	+ 0.000089	— 4°,05	+ 0.000170
— 0°,15	— 0,008057	— 1°,05	+ 0,000100	— 7°,05	+ 0.000169

Je bessere Vorsichtsmaassregeln angewandt wurden, um das Wasser von Fremdkörpern zu befreien, um so näher rückte die Grenze zwischen + und — an 0° heran. In der Umgebung von — 2° fängt das Eis an, seine Zerbrechlichkeit zu verlieren und eine gewisse Plasticität zu gewinnen. Reich mit Salzen imprägnirtes Eis gelangt früher, als anderes, in diesen Zustand, wie denn das Eis der Polarmeere oft durch die Fusstritte der darüber Hingehenden merkbare Eindrücke erhält. In erster Linie scheinen Peterson's Angaben allerdings nur für das eigentliche Polarmeereis zu gelten, denn bei dem in Meeren von sehr geringfügigem Salzgehalte entstandenen Eise schwankt die Uebergangstemperatur zwischen + und — zwischen — 5° und — 14°, und das im freien Ocean gebildete Eis zeigt keinen derartigen Zeichenwechsel in der Ausdehnung, wie wir aus der von Saporta [11] hinzugefügten Zusammenstellung ersehen können:

*) Haben wir für einen langen dünnen Stab, dessen Materie sich gleichförmig ausdehnt, bei 0° eine Länge 1 angenommen, und ist α der lineare Ausdehnungskoefficient, so wird bei t° die Länge jenes Stabes $= 1 + \frac{\alpha}{100} t = 1 + \alpha_1 t$ sein. Denken wir uns ferner aus dem gleichen Stoffe einen Würfel mit der Einheit als Kante konstruirt, so ist dessen Volumen bei 0° gleich $1^3 = 1$, dagegen bei einer Temperatur von t Graden gleich

$$(1 + \alpha_1 t)^3 = 1 + 3\alpha_1 t + 3\alpha_1^2 t^2 + \alpha_1^3 t^3.$$

Da die letzten beiden Glieder von verschwindender Kleinheit sind, so setzt man den kubischen Ausdehnungskoefficienten $= 3\alpha_1$, somit $(1 + \alpha_1 t)^3 = 1 + 3\alpha_1 t$.

Temp.	Kub. Ausdehn-koeff.	Temp.	Kub. Ausdehn-koeff.	Temp.	Kub. Ausdehn-koeff.
— 6°,40	— 0.001478	— 12°,20	— 0.000237	— 18°.20	— 0.000029
— 8°.20	— 0.000795	— 14°.20	— 0.000146	— 19°.20	— 0.000008
— 10°.20	— 0.000440	— 16°.20	— 0.000085		

Geophysikalisch ist dieser Gegensatz zwischen den verschiedenen Arten von Eis hinsichtlich ihrer Ausdehnung von entschiedenster Bedeutung. Besässe das Polareis eine so regelmässige Ausdehnung, wie das Eis der Binnengewässer oder selbst nur wie dasjenige der grossen Weltmeere, so wäre nicht zu verstehen, wie sich die Packeisblöcke so rasch, so plötzlich und in so gefahrdrohenden Grössendimensionen bilden könnten; jetzt aber lehrt ein Blick auf unsere erste Tabelle, dass von einem übergangslos eintretenden Froste allerdings derartige Wirkungen erwartet werden müssen.

Auch über das spezifische Gewicht des Meereises bestand lange keine rechte Einhelligkeit unter den Fachmännern. Horner setzt, hauptsächlich mit Rücksicht auf die Versuche von Placidus Heinrich [12] und Dumas, jene Zahl $> 0{,}905$ und $< 0{,}95$ [13]. Nach Bunsen muss dagegen 0,9167 angenommen werden [14]. Da, wie aus Kap. III erinnerlich, das spezifische Gewicht des Seewassers immer grösser als die Einheit ist, so muss von schwimmendem Eise stets ein beträchtlicher Theil über die Wasserfläche emporragen. Wie viel, das lässt sich dann, wenn der Eiskörper regelmässig geometrische Formen besitzt, durch eine ganz einfache Rechnung ermitteln. Es sei jener etwa ein rechtwinkliges Parallelepipedum, dessen dem Wasserspiegel parallele Fläche den Werth F haben möge, während die darauf senkrechte Kante a bis zur Tiefe x eintaucht, so dass also (a — x) über dem Wasser sichtbar ist. Nach dem hydrostatischen Satze, dass jeder in einer Flüssigkeit schwimmende Körper so tief einsinkt, bis das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge seinem eigenen Gewichte gleich ist, haben wir, die Dichte des Seewassers = 1,028 gesetzt, die Relationen

$$1{,}028 \,.\, F \,.\, x = 0{,}917 \,.\, F \,.\, a, \qquad x = \frac{0{,}917\,a}{1{,}028}$$

woraus die Proportion $a : (a - x) = 1{,}028 : 0{,}111$ sich ergiebt. Treibt also ein solch' spathförmiges Eisstück im Meere, so kann angenommen werden, dass seine Vertikaldimension neun- bis zehnmal grösser ist, als das mit den Augen zu verfolgende Stück derselben.

Während die bisherigen Angaben sich wenigstens der Hauptsache nach auf das wirkliche Meereis bezogen, gilt das, was im Folgenden noch über physikalische Eigenschaften des Eises bemerkt werden soll, für die verschiedenen Arten desselben generell, indem es nicht scheint, als nehme jenes eine Sonderstellung ein. Mit Untersuchungen über die Festigkeit des Eises haben sich früher Mairan und Joseph Weber vielfach beschäftigt; Horner berichtet [15] über ihre Experimente und namentlich über die von dem Letztgenannten angestellten Schiessversuche mit Eismörsern und Eiskanonen. In St. Petersburg hatte man schon früher Sechspfünder aus Newa-Eis hergestellt, deren

Eisenkugeln noch bei einer Entfernung von etwa 50 m ein zweizölliges Brett durchschlugen. Neuere Bestimmungen der absoluten und rückwirkenden Festigkeit des Eises hat man von Moseley [16]. Damit Eis von Menschen begangen, ja sogar von Wagen befahren werden könne, braucht es nicht einmal besonders dick zu sein. In den Polargegenden beurtheilen ortskundige Männer, und mit noch schärferem Instinkte vielleicht die Ziehhunde der Eskimo's, die Tragkraft einzelner Eispartieen nach deren Färbung. Die Widerstandsfähigkeit der Eismassen, namentlich der marinen, gegen die Explosivwirkung von Sprengstoffen ist den von Bessels [17] darüber gemachten Mittheilungen zufolge eine ungemein grosse*). — Das Eis ist diaphan, ziemlich in eben demselben Grade, wie das Wasser selbst, und von Farbe bläulich-grün, sein Brechungsvermögen ist ein wenig geringer, als dasjenige des flüssigen Wassers. Brennlinsen von Eis sind von v. Tschirnhaus und Mairan mit Erfolg zur Entzündung und Verflüchtigung brennbarer Substanzen angewendet worden [19]. Die polarisirende Kraft des Eises verhält sich zu derjenigen des Bergkrystalles nahe wie 1 zu 9. — Was die Wärmeleitungsfähigkeit des gefrorenen Wassers anlangt, so lässt sich aus den von Dalton [20] darüber angestellten Versuchen nur ungefähr das entnehmen, dass in diesem Punkte zwischen beiden Aggregatzuständen kein besonderer Unterschied obwaltet. Jedenfalls aber hat P. Erman dargethan [21], dass Eis kein Elektricitätsleiter ist. — Das Aufthauen des Eises, welches also denselben Vorgang darstellt, welchen man bei Metallen als Schmelzen bezeichnet, versetzt diesen Körper in einen porösbrüchigen Zustand. Salzwassereis scheint rascher zu zergehen als Süsswassereis; das hat, wie Horner anführt [22], schon der alte Martens bemerkt, dessen scharfes Beobachtungstalent bereits der erste Band (S. 22) rühmend hervorhob. — Strenge genommen würden in diese Zusammenstellung noch ein paar andere für die Glacialphysik wichtige Momente, wie die Bläschenbildung und die Regelation, gehören; wir ziehen es aber vor, uns deren Erörterung bis zu jenem Kapitel der achten Abtheilung aufzusparen, in welchem von einer ganz anderen Seite her an die Würdigung des Eises als eines geophysikalischen Faktors heranzutreten sein wird. Dagegen gestatten wir uns jetzt schon, eine diesem Kapitel dem strengen Wortsinne seiner Ueberschrift nach fremde Einschaltung vorzunehmen, weil der an sich eine ziemlich isolirte Stellung einnehmende Gegenstand auch späterhin nicht leicht organisch einzuflechten sein möchte.

§. 3. **Grundeis.** Jenes Eis, welches auf dem Boden der Gewässer sich bildet, heisst dieser seiner angeblichen Entstehung gemäss Bodeneis oder Grundeis. Wenn Horner vor nunmehr fast sechzig Jahren seine Schilderung unseres Wissensstandes in dieser Hinsicht mit den Worten anhebt [23], dass „die Art, wie dieser Gegenstand von den meisten physikalischen Schriftstellern abgefertigt worden ist, zu den

*) Ein sprechendes Zeugniss für die Festigkeit des Eises nördlicher Flüsse — hier der Newa — war der bekannte Eispalast, den die Kaiserin Anna im Jahre 1740 erbauen liess, und den Krafft vom Standpunkte des Naturforschers aus beschrieb [18].

Schattenseiten unserer Naturlehre gehört", so dachte er wohl kaum daran, dass eine dreissig Jahre später erschienene Monographie, diejenige von Scoppewer [24], im Wesentlichen seine Klagen zu wiederholen genöthigt sein werde. Durch die kritische Sonde, welche dieser spätere Bearbeiter, gestützt auf eigene Erfahrungen, an die massenhaft vorhandenen Hypothesen über Grundeisbildung anlegte, sind wir aber doch in unserer Erkenntniss um ein gutes Stück gefördert worden*).

Grundeis unterscheidet sich von dem klaren Oberflächeneise durch sein poröses, schwammiges Aussehen und seine graue Farbe; es ist aus zahlreichen, dünnen und runden Eisscheibchen zusammengesetzt und kommt nur bei sehr anhaltender Kälte zum Vorschein. Soviel steht fest, dass sich diese Eismassen an hervorragenden Stellen des Grundes ansetzen und allmählig — sei es durch die Gewalt der Strömung, sei es durch den von seiner geringen Dichte abhängigen natürlichen Auftrieb — an die Oberfläche gelangen, wie sie denn, als untrüglichen Zeugen ihrer Herkunft, Sand, Steine und andere Dinge mit herauf zu bringen pflegen. Trotzdem steht man ersichtlich vor der folgenden Alternative: Ist das Eis wirklich am Boden erzeugt worden, oder ist es nur nachträglich erst zum Grunde herabgesunken? Werfen wir jetzt einen Blick auf die Gründe für und wider, welche im Laufe einer fast zweihundertjährigen und äusserst lebhaft geführten Diskussion zu Tage kamen.

Nachdem Plott [25] die Behauptung aufgestellt hatte, dass die englischen Flüsse stets vom Grunde aus zuzufrieren begännen, gieng Hales [26] an eine wissenschaftliche Behandlung der Frage. Eistafeln sollten den von ihm gesammelten Nachrichten zufolge über das Wasser emporgeschossen und eine Zeitlang in dieser unnatürlichen Lage verblieben sein, bis sie sich dann auf die Seite gelegt hätten. Nollet trat dieser Angabe entgegen [27], da seine thermometrische Sondirung des Grundes verschiedener Flüsse ihm nirgendwo die zur Eisbildung erforderliche Kälte dortselbst ergeben habe. Er hielt dafür, dass jene Stellen im Flusse, welche sich durch eine besonders ruhige und gleichförmige Strömung auszeichneten, sich mit einer zarten Eishaut überzögen, welche den Fluss hinabschwimme und in Schollen zerbreche, oder unter dem Einflusse ungleicher Geschwindigkeiten des Wassers allmählig zerbröckle. Scoppewer macht dem gegenüber mit Recht darauf aufmerksam, dass die Eisdecke stets zuerst am Ufer, niemals aber im eigentlichen Stromstriche entstehe [28]. Gehler erklärte sich ganz und gar mit Nollet einverstanden [29], wogegen Desmarest [30] an der Décane und Brauns [31] an der Elbe Beobachtungen anstellten, welche wieder mehr für die ältere, Hales'sche Theorie zu sprechen schienen. Desmarest glaubt, dass im Flussbette einzelne Wassermengen durch Hindernisse aller Art von der Strömung völlig losgetrennt und folglich so gut wie unbewegt seien;

*) Dass der Gegenstand immerhin auch in diesem Kapitel behandelt zu werden verdient, folgt aus einer geschichtlichen Erinnerung an Peron's Hypothese, welche die Tiefe des Meeres mit ewigem Eise bedeckt sein liess und die Eisfelder nur als abgerissene Stücke dieses marinen Grundeises anerkannte. Der 19. und 20. Band der Gilbert'schen „Annalen" enthalten die betreffenden Dokumente sammt der von L. v. Buch an der Hypothese geübten Kritik.

auf diese Miniaturseen vermöge eine plötzlich einfallende Kälte Eis erzeugend einzuwirken, und es gefriere das Wasser dann nicht sowohl auf dem Grunde, sondern in dem Grunde, innerhalb der umgebenden Sand- und Erdmasse. Freilich gieng Desmarest zu weit mit seiner Behauptung: Wo kein sandiger Untergrund ist, da giebt es auch kein Grundeis. Glaubwürdige Zeugen, deren Horner [32] eine ganze Anzahl namhaft macht, berichten in einem mit Desmarest's Wahrnehmungen übereinstimmenden Sinne; die merkwürdigste Aussage dieser Art ist wohl die von Steenke, der selbst sah, dass die abgerissenen Ketten einer Leucht-Boye im Hafen von Pillau, eingeschlossen in Eis, zum Wasserspiegel emporgehoben wurden. Die abenteuerliche Theorie des Naturphilosophen Hugi [33] schliesst Scoppewer von den auch für die Neuzeit noch beachtenswerthen Erklärungsweisen aus, dagegen scheinen dem Letzteren die Arbeiten Lichtenberg's [34] und Zschokke's [35] entgangen zu sein. Ersterer wägt die Gründe ab, welche jeweils zu Gunsten von Hales oder Nollet zu sprechen scheinen, und kommt endlich zu dem Schlusse, dass die Bildung des schwammigen Eises doch mit weit grösserer Wahrscheinlichkeit an den Grund, als an die Oberfläche der Gewässer zu verlegen sei, wie auch P. Merian [36] der Meinung war, dass „eine Folge der gleichmässigen Temperatur eines fliessenden Gewässers in verschiedenen Tiefen die Bildung des Grundeises“ in der Tiefe sei, Zschokke dagegen ist der Ansicht, dass bei einer auf oder unter 0° abgekühlten Temperatur der oberflächlichen Wasserschichten ein rasches Sinken der Aussentemperatur die Kongelation herbeiführe; der häufig von den Strömen mitgeführte Treibschnee sei in seiner Art ganz dasselbe, wie das fälschlich so genannte Grundeis [37]. Hatte Zschokke sich ganz auf Selbsterlebtes und Selbstgesehenes beschränkt, so suchte gegentheils Arago [38] die gesammte vorhandene Literatur zu durchdringen und ihr Anhaltspunkte zu einer befriedigenden Kausalerklärung der Erscheinung abzugewinnen. In stehenden Wassern, so argumentirt er, werden die tieferen Schichten keine niedrigere Temperatur annehmen, als die dem Dichtigkeitsmaximum entsprechende, fliessende Gewässer aber können bis auf den Grund durchkältet werden, und am Boden kann dann, weil dort fast volle Ruhe herrscht und die Krystallisation allenthalben Stützpunkte findet, Eis entstehen, das sich nach und nach loslöst und emporsteigt. Arago nahm selbst daran Anstoss, dass seine Lehre nicht alle Theilphänomene ausreichend begründe, z. B. das Wachsen des treibenden Grundeises von unten auf. Strehlke glaubte die Entstehung des Bodeneises zu den Schwankungen der Luftfeuchtigkeit in Beziehung setzen zu sollen [39]; auch waren seine Beobachtungen und Wärmemessungen ausreichend, um Gay-Lussac's Hypothese zu beseitigen, nach welcher die Eisbildung erst bei — 8° beginnen sollte [40]. Mohr machte einen anderen Grund gegen jene geltend, den nämlich, dass Eisnadeln bei'm Herabsinken sich bis zur Durchschnittstemperatur der ganzen Wassermasse erwärmen müssten [41].

Für die oberflächliche Erzeugung des angeblichen Grundeises ist C. W. Weber in einer besonderen Schrift [42] eingetreten, bei deren Ergebnissen sich auch Scoppewer grossentheils beruhigt. Sein Hauptsatz lautet: Grundeis entsteht auf dem Wasser und ist unentwickeltes Treibeis oder, wie man mit Berufung auf die zu wenig

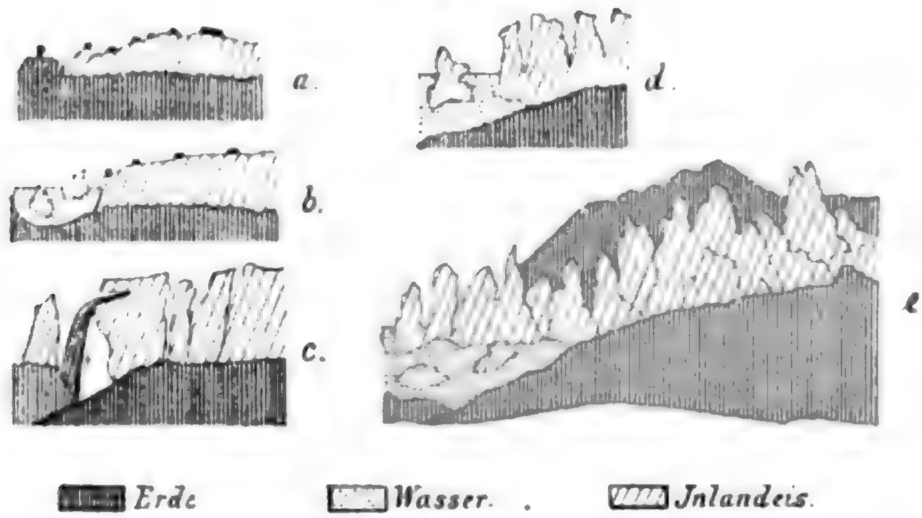
gewürdigten Beobachtungen von Zschokke wohl besser sagen könnte, es repräsentirt den Uebergang vom Treibschnee zum eigentlichen Treibeis. Durch die Wellenbewegung werden zahllose kleine Blättchen dieses Eisschnee's zum Sinken gebracht, haften an den Steinen, Gewächsen und sonstigen Erhabenheiten der Sohle fest an und steigen bei sich steigernder Temperatur wieder in die Höhe, indem sie Bruchstücke der Gegenstände, an welche sie angefroren waren, mit sich fortreissen. Scoppewer erwartet sich [43] die definitive Entscheidung über die Richtigkeit der beiden sich gegenüberstehenden Doktrinen von Versuchen, welche an solchen Stellen des Flussbettes anzustellen wären, zu denen die Eisnadeln unmöglich gelangen können. — Es scheint, dass die neuerdings von Rae [44] bekanntgegebenen Ansichten über Grundeisbildung den Weber'schen zur Stütze dienen können. Recht hat Rae zweifellos, wenn er seichtes Wasser und lebhafte Wirbelbewegung für günstige Vorbedingungen erklärt, aber auffallen muss es, dass er Felsboden ebenfalls für ein beförderndes Moment hält. Wir sahen oben, dass Desmarest gerade umgekehrt in felsigem Grunde ein Hinderniss zu erkennen glaubte. In der durch Rae angeregten Diskussion lässt sich übrigens Macdougall [45] dahin vernehmen, dass etwas Aehnliches, wie Grundeis, auch in den grossen amerikanischen Seen vorkomme.

§. 4. **Klassifikation und Charakteristik der im Meere treibenden Eismassen.** Es wäre ein Irrthum, anzunehmen, dass alles Eis der Meere den gleichen Ursprung hätte. Ausser dem eigentlichen Salzwassereis begegnet man in demselben auch Süsswasser- und Gletschereis, welch' letzteres durch Lostrennung von den zahlreichen in das Meer hineinreichenden Polargletschern selbstständig geworden ist. Das Süsswassereis im engeren Sinne entstammt den Flüssen und Bächen der Polargegenden; es ist hart, spröde und krystallhell, während das Gletschereis porös ist und die Durchsichtigkeit nur in sehr beschränktem Maasse besitzt [46]. Aus dem reichen Schatze seiner Erlebnisse schöpfend, hat der allzufrüh aus seiner gesegneten Wirksamkeit gerissene Polarforscher Weyprecht die verschiedenen Erscheinungsformen des Polareises in einem rasch berühmt gewordenen Spezialwerke geschildert [47], das auch von uns, wennschon keineswegs mit Ausschliesslichkeit, als Fundgrube des Wissens geschätzt und ausgebeutet wird.

Während vom polaren Süsswassereis nur vereinzelt kleinere Platten in das Meer hinausgetrieben werden, die dort rasch in der Masse aufgehen und nicht die mindeste individuelle Rolle spielen, tritt uns das abgerissene Gletschereis stets in sehr prägnanter Form, nämlich als Eisberg, entgegen. Die Binnenlandgletscher befinden sich, wie wir später sehen werden, in ununterbrochen fortschreitender Bewegung und fallen häufig sehr steil geböscht gegen den Meeresrand ab. Eine Eisschicht, welche dem Abhange bereits nahe gekommen ist, muss deshalb Risse bekommen und endlich unter dem Zuge ihres Eigengewichtes von der übrigen Gletschermasse sich loslösen; der Gletscher muss kalben [48]. Das abgetrennte Stück schwimmt, da sein spezifisches Gewicht geringer ist, als dasjenige des Salzwassers, im Meere und führt dann den Namen Eisberg. Solche Eisberge

können durch die Strömungen in weit entlegene Gegenden verführt werden, es ist aber auch möglich, dass sie stranden, d. h. von vorspringenden Land- oder Gletscherzungen aufgehalten werden und dann an der Küste längere Zeit hindurch festsitzen bleiben. Die sehr verschiedenen Modalitäten, unter welchen das Binneneis gegen das Meer hin, wie man zu sagen pflegt, absetzt, stellt uns die von Nordenskiöld [49] entworfene Fig. 81 vor Augen. In Fig. a und b erscheint der Rand des Inlandeises mit kleinen runden und eckigen Blöcken besetzt,

Fig. 81.



doch sind derselben nur so wenige, dass bei'm Verschwinden des Eises keine eigentliche Moräne zurückbleibt. Am Fusse bleibt oft eine kleine Erdbank bestehen, die häufig durch einen mit Schlamm und Blöcken erfüllten See abgelöst wird. In Fig. c beobachten wir die Abtrennung eines Stückes, die jedoch noch nicht unmittelbar an der Küste vor sich geht und deshalb nur einen isolirten Eispfeiler, keinen Eisberg im gewöhnlichen Wortsinne, liefert. Zwischen Fig. c einerseits und Fig. d und e andererseits waltet also ein Unterschied ob, zu dessen Klarstellung die Worte unseres Originales (a. a. O.) citirt sein mögen: „Der eigentliche Gletscher verhält sich zum Inlandeise, wie ein reissender Strom oder Bach zu einem grossen, ruhigen See. Während der Gletscher sich in fortwährender Bewegung befindet, ist das Inlandeis, wie das Wasser eines See's, in verhältnissmässiger Ruhe, mit Ausnahme eben der Punkte, wo es in breiten, aber kurzen Gletschern in das Meer abfällt. Läuft nun einer dieser Gletscher, durch welche der Eissee in das Meer hinausströmt, über ein glattes Terrain, wo der Meeresboden allmählig und ohne besonders steile Unterbrechung in das Land übergeht, so entstehen steile, schroffe Gletscher, deren abstürzende Eismassen wohl eine beträchtliche Grösse haben, aber nicht zu eigentlichen Eisbergen werden. Ist hingegen die Mündung des Fjordes schmal, die Tiefe des äusseren Meeres gross und die Neigung der Küste beträchtlich, so wird das Resultat jedesmal einer jener grossartigen Eisfjorde sein, wie sie Rink*) in so bewunderenswerther

*) Auf die Arbeiten von Rink wird im zweiten Kapitel der nächsten Abtheilung näher einzugehen sein, welches ebenso, wie das dritte der achten, zu den hier behandelten Dingen die allernächsten Beziehungen hat.

Weise beschrieben hat." Speziell Fig. e verdeutlicht uns einen solchen Eisfjord, wie sie in Grönland häufig vorkommen; auf Spitzbergen findet man sie auch, jedoch weit weniger ausgeprägt. Die Lebensdauer eines solchen Eisberges, wie wir ihn gerade vor unseren Augen entstehen sahen, ist eine sehr beschränkte, keiner überdauert, wenn Weyprecht im Rechte ist, ein Decennium. Die Vernichtung geht vom Inneren aus; das Gletschereis ist nämlich voll von Spalten und kleinen Höhlungen, in denen das Schmelzwasser sich sammelt, und da dasselbe bei'm Gefrieren sich ausdehnt*), so erfolgt bald da, bald dort eine kleine Sprengwirkung, bis schliesslich der ganze Eisberg, oft mit furchtbarem Krachen, selbst wieder „kalbt" und in das Meer versinkt. Die fortschreitende Zerstörung bringt es mit sich, dass ältere Eisberge sich in bizarren und grotesken Formen darstellen; weit verbreitet ist ein Bild des sogenannten Pinnakel, der nahe bei Port Foulke „vor Anker gegangen" war und den Begleitern Kane's als Landmarke diente [52]. Da auf jedem Gletscher sich viel Geschiebematerial ansammelt und mit demselben abwärts wandert, so bringt auch jeder Eisberg derartige Gesteinstrümmer aus seiner polaren Heimath mit, und, wenn ihn schliesslich der Untergang ereilt, so lagert er jene Trümmermassen auf dem Meeresgrunde ab, denselben mehr und mehr erhöhend. Dass die New-Foundland-Bank auf diese Art und Weise entstanden sei, ist z. B. sehr wahrscheinlich. Es sind schon Eisberge bis zu 440 m beobachtet worden, und es ist leicht begreiflich, dass solche Ungethüme, wenn sie gesellig vereinigt in den Atlantik hinausgeführt werden und die Schifffahrtsroute der zwischen Amerika und Europa verkehrenden Kreuzer durchschneiden, sehr gefürchtet werden. Einmal wurden vom Mastkorbe eines Schiffes unter 44½° Norderbreite und 49½° westlicher Länge von Greenwich zu gleicher Zeit nicht weniger als 55 grosse Eisberge beobachtet, während man deren vom Verdecke aus wenigstens 22 zählte [53]**).

Im Gegensatze zu den Eisbergen ist das sogenannte Feldeis immer marinen Ursprunges; wenigstens gilt diess für die arktischen Meere, während in den antarktischen auch marine Eisbildungen Formen annehmen, die an die Eisberge der nördlichen Halbkugel erinnern. Wir unterscheiden mit Weyprecht eigentliche Felder, deren Vertikaldimension gegenüber der Länge und Breite nur gering ist, sodann Flarden, Schollen und Brocken [54]. Eis, nicht älter als zwei

*) Dass die Sprengkraft des von seinem Dichtigkeitsmaximum aus gegen 0° sich ausdehnenden Eises eine sehr bedeutende ist, dafür haben wir schon im I. Bande (S. 362) ein drastisches Beispiel angeführt; Hagenbach-Bischoff liess eiserne Hohlkugeln durch Gefrieren des darin enthaltenen Wassers explodiren, und es trat alsdann das Eis so aus der durch Fortschleudern der Verschlussschraube entstandenen Oeffnung hervor, wie es Fig. 82 veranschaulicht [50]. Andere Belege findet man bei Horner [51]. Felder aus Seewassereis unterliegen diesem Zerstörungsprocesse nicht, weil die Temperatur grösster Koncentration des Seewassers nicht über, sondern unter dem Gefrierpunkte liegt.

Fig. 82.



**) Ehedem waren die Meteorologen auch sehr geneigt, plötzliche Temperaturrückfälle von einer Vielzahl von Eisbergen, die bis zu niedrigeren Breitegraden vorgedrungen wären, herzuleiten. Diese Ansicht ward beseitigt, als man bessere Erklärungsgründe kennen lernte.

Jahre, heisst Treibeis, war es dagegen mehrere Jahre hindurch den Einwirkungen des Frostes ausgesetzt, so wird es zum Packeis, welches sich zu sehr soliden Barrièren ansammelt („Hummocks"). Wenn die Schollen vom Winde hin- und hergetrieben werden, so entfernen sie sich stellenweise von einander, es bilden sich zwischen ihnen Waken, welche theilweise durch Gasch — eine Mischung von Eisbrocken und Wasser — ausgefüllt erscheinen. Zusammenstossende Schollen werden durch den Frost rasch „aneinandergeleimt". Eine einigermassen jähe Aenderung der Temperatur bringt (oberflächliche) Risse und (hindurchgehende) Spalten zuwege, der Druck des Seeganges, des Windes und der anstossenden Schollen schiebt einen Theil des zertrümmerten Stückes über den anderen weg, in die Zwischenräume fällt Schnee hinein, der als Kitt dient, bis neu entfesselte Kräfte eine wiederholte Zertrümmerung bewirken. Nur wenige und kräftige Schollen überdauern den Winter. Man weiss z. B., dass die Mannschaften der „Hansa" und ein Theil der Mannschaften der „Polaris" auf solchen Schollen Reisen von entsetzlicher Ausdehnung zu unternehmen gezwungen waren; im ersteren Falle hielt die Scholle sehr lange aus, während im anderen die Schiffbrüchigen sich zuletzt mittelst des ihnen noch verbliebenen Bootes von Eisfragment zu Eisfragment retten mussten. Jedenfalls ist Weyprecht's Namengebung „Metamorphosen des Polareises" eine sehr wohlbegründete. Schieben sich die Schollen um ein Schiff herum so zusammen, dass dasselbe einfriert, so wird das eingeschlossene Schiff besetzt, und es ist fraglich, ob es je wieder erlöst werden wird; Kane's Schiff z. B. war nicht so glücklich, während Hayes durch Werpen und Sägen das seinige zu befreien vermochte. Eine treffliche Abbildung der Eiswildniss um die eingeschlossene „Polaris" herum giebt Bessels [55], während uns der Anblick einer im Allgemeinen freien und nur mit unzählig vielen Treibschollen bedeckten See nicht besser als durch v. Heuglin's Abbildung [56] der spitzbergischen Freeman-Strasse vergegenwärtigt werden zu können scheint*).

Man kann annehmen, dass warme Winde und Meeresströmungen pro Jahr etwa 3200000000000 Kubikmeter Eis vernichten, d. h. in Wasser auflösen, wenn man sich auf die Nordhalbkugel beschränkt. Die Fortschreitungsgeschwindigkeit der Treibeismassen ist einer von Dorst entwickelten Formel zufolge keine beträchtliche. Die äusserste Linie gegen den Aequator hin, bis zu welcher die Eisschollen treiben,

---

*) In dem erwähnten Werke Nordenskiöld's werden als besonders ausgezeichnete Hohlräume die Eisdocks und Eiskanäle unterschieden; erstere sind tiefer als letztere, aber immer nur von geringer Ausdehnung. v. Wrangell beobachtete an der Nordküste von Sibirien gewisse eigenthümliche Eismauern, deren dann natürlich auch Nordenskiöld bei der Vega-Fahrt ansichtig wurde. Von ihm wird der Grund ihrer Entstehung in der Volumenänderung gesucht, welche das Eis bei Temperaturschwankungen erleidet. Wir führen an, wie er sich, nachdem er auf die Grösse des kubischen Ausdehnungskoefficienten des Eises (s. o. §. 2) hingewiesen, über die Sache ausdrückt: „Demnach müssen, wenn das Eis von 0° auf — 15° abgekühlt wird, Risse in demselben entstehen, die auf 1000 m eine Breite von 32 Zoll haben werden. Die Risse frieren natürlich bald nach ihrem Entstehen wieder zusammen, und wenn das Eis wieder, z. B. auf — 5°, erwärmt wird, so muss eine Aufschichtung von 21 Zoll pro Kilometer stattfinden." 1 schwed. Fuss ist gleich $3{,}36821^{-1}$ m.

ehe ihr Untergang sie ereilt, heisst Treibeisgrenze. Dieselbe ist nicht konstant, pflegt aber auf der amerikanischen Seite des nördlichen Atlantik zwischen 35° und 40° zu verlaufen, während in Europa selbst noch das Nordkap nicht von ihr erreicht wird. Auf der südlichen Hemisphäre kann die Grenze unter Umständen bis zu 50° hinaufreichen [57]. Kälte, Ruhe der Luft und geringe Eispressung wirken zusammen, um die Linie nach unerwartet niedrigen Breiten zu verlegen.

§. 5. **Paläokrystisches Meer; eine Streitfrage.** Als der englische Polarforscher Nares die bis dahin noch nicht überschrittene Breite von 82° erreicht hatte, begegnete er Eismassen von 16 m Dicke, welche er als paläokrystisches Eis („paleocrystic floes") bezeichnete [58]. Im Deutschen würde man dafür wohl Ureis sagen müssen. Vielfach hat man diess so aufgefasst, als ob der Entdecker damit die Existenz eines paläokrystischen Meeres, eines Meeres säkulärer Eismassen, habe behaupten wollen, wenigstens fassen Weyprecht (a. o. O.), Chavanne [59] und die Verfasser des österreichischen Admiralitätswerkes [60] Nares' Ausspruch in diesem Sinne auf. Es erscheint aber fraglich, ob Jener so weit gehen wollte; des Wortes „paleocrystic sea" bedient er selbst sich nicht, und er hat anscheinend nur andeuten wollen, dass sehr hohen Breiten eine ganz spezifische Eisformation entspreche. Damit dürfte es aber seine Richtigkeit haben, und so können sich wohl bei dieser Annahme Alle beruhigen, die an der Frage des vorzeitlichen Eismeeres Interesse haben*). Wenn man allerdings den kurzen Polarsommer mit der Länge des furchtbar strengen Polarwinters vergleicht, so möchte man sich wundern, dass nicht endlich völlige Vereisung der Polargegenden erfolgt**). Das Hinderniss liegt in der stetigen Einwirkung der Meeresströmungen. Die von ihnen bewirkte Cirkulation der Gewässer hat zur Folge, dass die Tiefentemperatur der Eismeere konstant oberhalb des Gefrierpunktes des Salzwassers verbleibt; nähern sich im Winter die oberen Schichten der Temperatur der Maximaldichtigkeit, so werden sie schwerer, sinken unter und machen wärmeren Schichten Platz, welche von unten aufsteigen. Solange das Meer mit der freien Luft in direktem Kontakte steht, geht allerdings die Eisbildung rasch vor sich, bei einer gewissen Dicke der Eishaut aber wird die vertikale Wassercirkulation ausreichen, um das Wachsen jener Decke nach unten unter eine gewisse Grenze hinab zu verhindern.

Um überhaupt über das Dickenwachsthum des Eises einigermassen in's Klare zu kommen, hat v. Boguslawski die im dritten und vierten Theile der „Contributions to our knowledge of the meteorology of the arctic regions" mitgetheilten Beobachtungen von Strachan,

---

*) Wenig bekannt ist wohl, dass schon E. de Beaumont in seiner Weise die Frage nach der Existenz eines paläokrystischen Meeres anregte [61]. Er entschied sich gegen ein solches und gab eine Formel an, um die Dicke des Polareises eines Ortes als Funktion von dessen mittlerer Jahrestemperatur und von dem geothermischen Gradienten (I. Band, S. 303 ff.) auszudrücken.

**) Dass eine solche periodisch mit fast gänzlicher Eisentblössung abwechseln könne, ist bekanntlich schon mehrfach (s. Kap. IX der vorigen Abtheilung) zu beweisen versucht worden.

Nares u. a. einer sorgfältigen Diskussion unterzogen [62]. Er zieht aus diesem reichhaltigen Material elf Erfahrungssätze, welche grossentheils zur Bekräftigung Weyprecht'scher Angaben dienen*). Bemerkt sei noch, dass nach neueren Forschungen Dall's der Kurosiwo (s. Kap. V. §. 5), dem man früher eine ähnliche Rolle zuwies, wie sie der Golfstrom anerkanntermassen für die Freihaltung der See zwischen Island und Norwegen spielt, sich als ziemlich einflusslos erwiesen hat**).

§. 6. **Die geographische Vertheilung des Polareises und die offene Polarsee.** Es ist für den Geographen schon deshalb wichtig, das Auftreten des Meereises in quantitativer Hinsicht für die höheren Himmelsstriche schätzen zu können, weil den verschiedenen Eiszeithypothesen oft recht phantastische Annahmen zu Grunde liegen. Wenn man die Croll'schen Zahlen [66] zur Norm nimmt, so ergiebt sich für die nördliche Halbkugel blos 0,08 %, für die südliche 1 %, für die Erde also 1,1 % der gesammten Wassermenge als in Eis gebundenes Meerwasser. In früheren geologischen Zeitaltern war die Menge des Eises selbst nach sehr gemässigten glacialistischen Vorstellungen eine ungleich erheblichere, auf unserer Hemisphäre dürfte ein zehnfach grösseres Areal mit Eis überdeckt gewesen sein als heutzutage. Nach Penck's Berechnung [67] würden 1120300000000 Quadratmeter in Europa auf die ehemalige Uebereisung kommen; die Antheile von Nord-, West-, Mittel- und Osteuropa würden sich verhalten, wie 21 : 5 : 9 : 47.

Als eine durchgängig wiederkehrende Thatsache hat die folgende

---

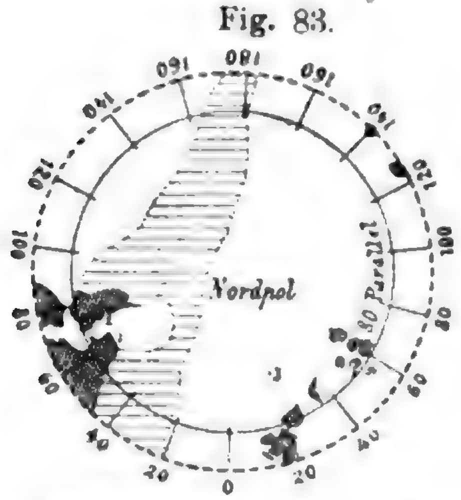
*) Die wichtigsten der elf Sätze sind diese: I. Die Eisdicke erreicht im Laufe eines arktischen Winters eine Mächtigkeit von 1 bis 2,5 m. II. In Gegenden, deren Meere tief und in fortwährender Bewegung sind (Discovery-Bucht, Melville-Bay), ist die Eisdecke minder dick als in geschlossenen Golfen und Häfen. IV. Als der Monat, in welchem das junge Eis sich zu bilden anfängt, kann fast ausschliesslich der September gelten. VIII. „Der Verlust durch Verdunstung kommt dem Eise selbst wenig zu gute, da alles Eis derart in Schnee gehüllt ist, dass nur vereinzelte Zacken und Flächen mit der Luft in Berührung stehen" [63]. X. Das Eis kann durch Gefrieren nur so weit anwachsen, dass seine Zunahme im Winter seiner Abnahme im Sommer gleich ist [64]. Die Berücksichtigung der topischen Eigenschaften ist trotz der Allgemeingültigkeit dieser Regeln ja nicht zu unterlassen.

**) Auf einen ganz anderen Faktor, dessen Aktion noch sehr in Dunkel gehüllt erscheint, ist unsere Aufmerksamkeit durch v. Schleinitz gerichtet worden [65]: die von der Sonnenfleckenperiode (Kap. V. §. 4 der fünften Abtheilung) abhängige grössere oder geringere Wärmemenge, welche der Erde vom Centralgestirn zugeht, soll auf die polaren Eisverhältnisse bestimmend wirken. Als Jahrgänge, während welcher ein besonders starkes Eistreiben beobachtet wurde, sind 1772—74, 1828—30, 1839—40, 1853—56, 1858—60 und 1878—79 aufgeführt, und wirklich fallen vier von diesen Epochen ziemlich auf die Sonnenfleckenmaxima der Wolf'schen Periode. Einigermassen bedenklich kommt es uns allerdings vor, dass auch zwei Minima mit heftigem Eisgange sich decken, überhaupt liegen doch im Ganzen noch nicht genug genaue Aufzeichnungen vor. Gleichwohl ist man dem genannten hervorragenden Vertreter der wissenschaftlichen Seemannskunde Dank schuldig für die von ihm ausgegangene Anregung, die, wenn weitere Studien zu Bestätigungen führen sollten, für die Polarforschung insofern sehr bedeutungsvoll werden könnte, als man darauf hin einen günstigen Zeitpunkt für das Eindringen in's Eis sich auswählen könnte. So würde nach v. Schleinitz der Zeitraum 1855—56 besonders geeignet für einen nach dem südlichen Pole gerichteten Vorstoss gewesen sein.

zu gelten [68]: die Ostküsten eines Polarlandes haben ungünstigere Eisverhältnisse als die Westküsten. Von keinem Lande ist diess so allgemein bekannt wie von Grönland, dessen Ostküste heute noch allen Kolonisationsversuchen beharrlichen Widerstand entgegensetzt. Von einigen Territorien, die sich namentlich durch gleichmässig wehende Winde auszeichnen, lässt sich mit ziemlicher Sicherheit voraussagen, welche Eiszustände man an ihren Küsten antreffen werde. Manche lange fortgepflanzte Unrichtigkeiten hat die Forschung allgemach beseitigt. So ist z. B. das karische Meer keineswegs der Eiskeller, als welchen es K. E. v. Bär ansah; wenn irgend ein Meerestheil auf diesen Namen Anspruch machen kann, so möchte es die vom Smith-Sund östlich abzweigende Melville-Bay sein. Im Vordergrunde des Interesses stehen natürlich zwei Fragen: giebt es ein offenes Polarmeer und giebt es Verbindungsstrassen freien Wassers längs der Küsten von Nordamerika und Nordasien? Diesen beiden Fragen, deren Lösung schon so manche Opfer gefordert hat, wird nunmehr noch etwas näher zu treten sein.

Die erstgenannte Frage zerfällt, soweit die Interessen der Polarforschung mitspielen, selbst wieder in zwei Theile; es kann um den Nordpol herum ein Festlandkomplex sich ausbreiten, es kann aber auch derselbe in einem Eispanzer begraben liegen, welcher, ohne im streng physikalischen Sinne paläokrystisch zu sein, für die Schiffbarkeit doch die gleichen unvortheilhaften Bedingungen darbieten würde. Meteorologische Beobachtungen und Erwägungen hatten zumal unserem grossen deutschen Geographen Petermann die Ueberzeugung beigebracht, dass eine freie und schiffbare Polarsee vorhanden sei, und diese Ueberzeugung ward sowohl durch die auf Autopsie beruhenden Beobachtungen von Morton [69] und Hayes [70], als auch durch die mehr und mehr sich herausstellende Insularität Grönlands [71] bestätigt. Petermann beschäftigte sich mit seiner Lieblingsidee in sehr vielen Artikeln und Aufsätzen, deren in seiner für die deutsche Polarfahrt von 1868 aufgesetzten Instruktion [72] sämmtlich Erwähnung geschieht; auch andere Gelehrte traten auf seine Seite*). Unsere Fig. 83 zeigt uns, in welcher Weise sich Petermann sein offenes Meer mit dem von Kane so weithin durchforschten Smith-Sund in Verbindung setzen wollte. Man darf sagen, dass heute, wesentlich unter dem Einflusse der von Payer, Weyprecht und Bessels aus dem hohen Norden mitgebrachten Anschauungen, die Hypothese

Fig. 83.



Meer Petermanns hypoth. Land Wirkliches Land
1 Mortons (1854) 2 Hayes (1861) 3 Parry's (1827) fernster Punkt

*) Baruffi sagt [73] in seinem Nekrologe des berühmten Mathematikers Plana, dass derselbe noch kurz vor seinem Tode eine theoretische Untersuchung über die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche abgeschlossen habe, aus welcher er den Schluss auf das Vorhandensein zweier Cirkumpolarmeere gezogen habe.

des Polarmeeres gänzlich verlassen ist*). Bessels suchte persönlich jenes Gestade auf, an welches Hayes die Wogen eines unabsehbar nach Norden sich erstreckenden Meeres hatte schlagen sehen, und konnte von diesem nicht das Geringste finden, wie ihm denn überhaupt seine scharfe Analyse des von Hayes geführten „Feldbuches" Misstrauen gegen die Zuverlässigkeit der darin niedergelegten Beobachtungen eingeflösst hatte [74]. Mehr und mehr brach sich die Meinung Bahn, dass es ein ausgedehntes Polarfestland geben müsse, eine Meinung, welcher von Behm [75] ein sehr präciser Ausdruck verliehen wurde. Allein durch die unter so erschwerenden Umständen erfolgte Heimkehr der Greeley'schen Expedition scheint abermals eine Verschiebung der Ansichten eingetreten zu sein, insofern die zweite der Möglichkeiten, in welche wir oben die Frage des Polarmeeres überhaupt zerlegten, in den Vordergrund tritt. Originalschriftstücke waren uns nicht zugänglich, doch können wir für unsere Angabe den folgenden Bericht Rachel's [76] anführen: „Es ist die Ansicht Lieutenant Greeley's und seiner Begleiter, dass die Erreichung des Nordpoles schwer möglich sein wird. Das Nordpolarmeer, über dessen Existenz jetzt wohl kaum noch ein Zweifel bestehen kann, ist für Schiffe unfahrbar und wegen der vielen offenen Stellen auch für Schlittenreisen ungeeignet."**) Was den Südpol anbetrifft, dessen Erreichung noch kaum ernstlich angestrebt wurde***), so ist ein gewisser Umstand vorhanden [77], der für solche Versuche günstig in die Wagschale fällt. Allenthalben nämlich, wo es in den antarktischen Meeren gelang, den Packeisgürtel zu durchbrechen, stiess man bald auf freies Wasser in ziemlich grosser Ausdehnung.

Die sogenannte nordwestliche Durchfahrt ist ein Labyrinth von Inseln und Kanälen, welch' letztere fast stets von Packeis besetzt sind und eine regelrechte Schifffahrt zur Unmöglichkeit machen. Einigermassen anders ist es mit der durch Nordenskiöld eröffneten nordöstlichen Durchfahrt bestellt, über deren Eigenart wir einen vorzüglichen Bericht v. Boguslawski's [78] besitzen. Es kommt dabei nicht sowohl darauf an, dass ein und dasselbe Schiff die Umsegelung des asiatischen Nordrandes bewerkstellige, sondern mehr darauf, dass ein gesicherter Verkehr zwischen Europa und den Mündungen von Ob, Jenissei und Lena einerseits und zwischen Lena und Beringsstrasse andererseits hergestellt werde. Und dazu scheinen die physikalischen Vorbedingungen gegeben.

§. 7. **Eisblink und Wasserhimmel.** Unter Eisblink („iceblink") versteht man jenen glänzend weissen Streif am Horizonte, der aus weiter Entfernung das Vorhandensein ausgedehnter

*) Das Polarland geht über den mathematischen Pol hinweg; die Ostküste (Europa und Asien zugewendet) ist zwischen 23° und 170° ö. L. von Greenwich in einer durchschnittlichen Breite von 84° und 85°, die Westküste (Amerika zugewendet) zwischen 90° und 170° w. L. von Greenwich in einer wechselnden Breite von 86° bis 80° anzutreffen.

**) Angeblich soll eine Strömung aus dem Berings-Meer in den Smith-Sund entdeckt sein.

***) Eine auf die Förderung der Südpolforschung abzielende Resolution ist vom vierten deutschen Geographentag, der in München zusammengetreten war, angenommen worden.

Eisfelder verkündigt und nicht selten sogar von dem sonst überall den Himmel bedeckenden Gewölke sich deutlich abhebt. Dieser Streif scheint hauptsächlich auf die Wirkung der Refraktion zurückzuführen zu sein. Wäre die ganze Umgebung des Poles von glatten Eismassen bedeckt, so würde natürlich eine starke Verbreiterung des dünnen Bandes sich ergeben, obwohl selbst dann noch ein nordlichtähnliches Farbenspiel, wie es die Wolfert'sche Hypothese (S. 58 dieses Bandes) fordert, weder durch Zurückwerfung, noch durch Brechung der Strahlen zu erklären wäre. „Ein Eisfeld bringt den hellsten Eisblink mit einem Anstriche von Gelb hervor; Treibeis von grosser Ausdehnung giebt sich durch ein reineres Weiss, und neu entstandenes Eis giebt sich durch ein grauliches Licht zu erkennen" [79]. Diese Angaben Horner's sind wesentlich dem Tagebuche des schärfsten Beobachters aller optischen Erscheinungen der Polarlande, Scoresby's, entnommen, dem zufolge auch schneebedeckte Landmassen den Horizont aufzuhellen vermögen. Ausgedehnte Waken und noch mehr offene See verrathen sich durch tiefblaue oder schwarze Färbung des Himmels; solche Flecke zeigen sich hie und da mitten im Eisblink und weisen dem Seefahrer seine Richtung an. Die deutsche Seemannssprache hat für diese dunkle Schattirung, welche Parry bezeichnender „Water-sky" nennt, die Bezeichnung Wasserhimmel.

[1] Wisotzki, Die Vertheilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche, Königsberg 1879. S. 33 ff. — [2] Gehler's Physikalisches Wörterbuch. 2. Auflage, 5. Band, Leipzig 1827. S. 140 ff. — [3] G. Forster's sämmtliche Schriften. 2. Band. Leipzig 1843. S. 411. — [4] Saporta, La glace dans les mers polaires, Revue scientifique, 1884. S. 488 ff. — [5] Zöppritz, Das Verhalten des Meerwassers in der Nähe des Gefrierpunktes und die Statik der Polarmeere, Ann. d. Phys. u. Chem., 5. Ergänzungsband. S. 508 ff. — [6] v. Boguslawski, Handbuch der Oceanographie, 1. Band, Stuttgart 1884. S. 359 ff. — [7] Peterson, On the properties of water and ice, Stockholm 1883. — [8] Gehler's Phys. Wörterbuch, 2. Aufl., 5. Band. S. 142 ff. — [9] Albers, Amerikanische Annalen für Arzneykunde, Naturgeschichte, Chemie und Physik, 1. Heft, Bremen 1802. S. 105 ff. — [10] Saporta, La glace etc., S. 482 ff. — [11] Ibid. S. 486 ff. — [12] Pl. Heinrich, Pyrometrische Versuche über die Ausdehnung des Eises und der Holzkohle, München 1806. — [13] Gehler's Phys. Wörterb., 5. Band. S. 113. — [14] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 361. — [15] Gehler's Phys. Wörterb., 5. Band. S. 120 ff. — [16] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 363. — [17] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 223 u. 298. — [18] Krafft, Wahrhaftige und umständliche Beschreibung und Abbildung des im Jahre 1740 in St. Petersburg aufgerichteten merkwürdigen Hauses von Eis, St. Petersburg 1741. — [19] Gehler's Phys. Wörterb., 5. Band. S. 124. — [20] Dalton, On the power of fluids to conduct heat, Mem. of the society of Manchester, Vol. V, 2. S. 373 ff. — [21] P. Erman, Versuch einer physikalischen Theorie der Volta'schen Säule, Gilbert's Ann. d. Phys., 11. Band. S. 166 ff. — [22] Gehler's Phys. Wörterb., 5. Band. S. 126 ff. — [23] Ibid. S. 127. — [24] Scoppewer, Ueber Grundeis, Brandenburg 1859. — [25] Plott, The natural history of Oxfordshire, being an essay towards the natural history of England, Oxford 1705. S. 28. — [26] Hales, Vegetable statics or an account of some statical experiments on the sap in vegetables, London 1727. App. S. 398. — [27] Nollet, Mémoire sur la manière dont se forment les glaçons qui flottent sur les grandes rivières, Hist. de l'ac. des sc. de Paris, Année 1743. S. 51 ff. — [28] Scoppewer, Ueber Grundeis, S. 5. — [29] Gehler's Physik. Wörterb., 1. Aufl., 1. Band, Leipzig 1788. S. 676. — [30] Desmarest, Précis d'un mémoire sur le lieu et les autres circonstances de la formation des glaçons spongieux que les rivières charrient, Journ. de phys., Vol. XXII. S. 50 ff. — [31] Hannoverisches Magazin für Naturkunde. 1783. Nr. 20 ff. — [32] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 5. Band. S. 130 ff. — [33] Hugi, Notice sur la glace du fond des eaux courants, Bibl. univers., Vol. XLI. S. 201 ff. —

[34] Lichtenberg, Ueber Gegenstände der physischen Geographie, Phys. u. math. Schriften, herausgeg. von Kries, 4. Band, Göttingen 1806. S. 317. — [35] Zschokke, Das Grundeis auf der Aare, Verhandl. d. naturf. Ges. in Bern, 1855. S. 169 ff. — [36] P. Merian, Ueber die Gleichheit der Wärme fliessenden Wassers an der Oberfläche und am Grunde, Neues Jahrb. f. Min., Geogn., Geol. u. Paläont., 1837. S. 690. — [37] Zschokke, Das Grundeis etc., S. 186. — [38] Arago, Annuaire pour l'an 1843. S. 244 ff. — [39] Strehlke, Beobachtung von Grundeis in Berlin, Ann. d. Phys. u. Chem., 28. Band. S. 223 ff. — [40] Scoppewer, Ueber Grundeis, S. 15. — [41] Mohr, Ueber Grundeisbildung, Ann. d. Phys. u. Chem., 43. Band. S. 527 ff. — [42] C. W. Weber, Die Entstehung des Grundeises, nach Erfahrungssätzen und physikalischen Regeln erläutert, Spandau 1856. — [43] Scoppewer, Ueber Grundeis, S. 20. — [44] Rae, Anchor-Ice, Nature, Vol. XXI. S. 538; Vol. XXII. S. 54. — [45] Macdougall, Anchor-Ice, ibid. Vol. XXI. S. 612. — [46] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie, 1. Band, Wien 1883. S. 327. — [47] Weyprecht, Die Metamorphosen des Polareises, Wien, Pest, Leipzig 1880. — [48] Handbuch etc., S. 340 ff. — [49] Die Nordpolreisen Adolf Erik Nordenskiöld's 1858 bis 1879, Leipzig 1880. S. 147 ff. — [50] Hagenbach-Bischoff, Sprengwirkungen durch Eis, Verhandl. der naturf. Ges. in Basel, 7. Theil. S. 185 ff. — [51] Gehler's Phys. Wörterb., 5. Band. S. 114 ff. — [52] Kane, Arktische Fahrten und Entdeckungen der zweiten Grinnell-Expedition zur Aufsuchung Sir John Franklin's, Leipzig 1879. S. 143. — [53] Ungewöhnliche Eismassen auf dem atlantischen Ocean im Frühjahr 1841, Ann. d. Phys. u. Chem., 55. Band. S. 639 ff. — [54] Handbuch etc., S. 329 ff. — [55] Bessels, Die amerik. Nordpolexped., S. 133. — [56] v. Heuglin, Reisen nach dem Nordpolarmeere in den Jahren 1870 und 1871, 1. Theil, Braunschweig 1872. S. 146. — [57] Handbuch etc., S. 337 ff. — [58] Nares, The official report of the recent arctic expedition, London 1877. S. 86. — [59] Chavanne, Die englische Nordpolexpedition 1875/76 unter Kapitän Nares und ihre Resultate, Wien, Pest, Leipzig 1877. — [60] Handbuch etc., S. 332 ff. — [61] E. de Beaumont, Ueber die Temperatur der Erdoberfläche in der tertiären Periode, Neues Jahrb. f. Min., Geogn., Geol. und Paläont., 1837. S. 63 ff. — [62] v. Boguslawski, Meteorologische und physisch-oceanographische Beobachtungen im amerikanisch-arktischen Archipel, ausgeführt von verschiedenen englischen arktischen Expeditionen in den Jahren 1819 bis 1854, Ann. d. hydr. u. marit. Met., 11. Band. S. 395 ff. S. 509 ff. — [63] Weyprecht, Die Metam. etc., S. 81. — [64] Ibid. S. 131 ff. — [65] v. Schleinitz, Ueber die von der internationalen Meteorologenkonferenz in Hamburg, Oktober 1879, geplante Polarforschung, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band, S. 206 ff. — [66] Croll, Climate and time, London 1875. S. 383 ff. — [67] Penck, Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882. S. 27 ff. — [68] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 381. — [69] Kane, Arkt. Fahrten etc., S. 169 ff. — [70] Hayes, Das offene Polarmeer, deutsch von Martin, Jena 1868. S. 299. — [71] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1884. S. 24. — [72] Petermann, Die deutsche Nordpolexpedition, Gotha 1868. — [73] Baruffi, Der Senator Baron Plana, deutsch von Curtze, Arch. d. Math. u. Phys., Lit.-Ber. CLXIV. S. 4. — [74] Bessels, Die amerik. Nordpolexped., S. 188 ff. — [75] Behm, Die bedeutenderen geographischen Reisen in den Jahren 1872 und 1873, Geogr. Jahrb., 5. Band, Gotha 1874. S. 214. — [76] Rachel, Aus Amerika, Gaea, 20. Jahrgang. S. 648. — [77] v. Boguslawski, Handbuch etc., S. 385. — [78] v. Boguslawski, Die Nordenskiöld'sche Expedition von 1878/79, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 164 ff. — [79] Gehler's Phys. Wörterbuch, 5. Band. S. 149.

Siebente Abtheilung.

Dynamische Wechselbeziehungen zwischen Meer und Land.

Kapitel I.

Dauernde Verschiebungen der Grenzlinien zwischen festem und flüssigem Elemente.

§. 1. **Ueber Niveauschwankungen im Allgemeinen.** Im ersten Bande (S. 193 ff.) war davon die Rede, dass ein absolut fixes Niveau für sämmtliche irdische Meere nicht vorhanden sei, und im ersten Kapitel der vorigen Abtheilung musste die nämliche wichtige Frage unter einem anderen Gesichtspunkte erörtert werden. In diesem Abschnitte haben wir die näheren Umstände dieser Niveauschwankungen zu prüfen, die thatsächlichen Verhältnisse geographisch festzustellen und schliesslich nach Gründen für die den uns innewohnenden Vorstellungen von der Wechselbeziehung zwischen Fest und Flüssig zuwiderlaufende Erscheinung zu suchen. Erleichtert wird uns diese Untersuchung sehr wesentlich durch den wie immer geistreich und anregend gearbeiteten Essay Peschel's [1], den Leipoldt dem fortgeschrittenen Wissen der Neuzeit entsprechend umgearbeitet hat [2], und noch mehr durch die inhaltsreiche Monographie von Hahn [3], durch welche besonders die Kriterien für den Nachweis einer Hebung oder Senkung systematisch fixirt worden sind. Der bezügliche Abschnitt des österreichischen Admiralitätshandbuches [4] enthält keine eigentlich neuen Materialien.

Das nächstliegende, wo nicht vorläufig einzige Mittel der Erkenntniss, ob die Uferlinie eines Landes nach oben oder unten sich verschoben habe, scheint die Beobachtung fixer Marken im festen Fels zu sein, sei es, dass diese bereits von der Natur oder erst vom Menschen zu Beobachtungszwecken angebracht sind. Die frühesten Beobachtungen dieser Art hat v. Hoff [5] sorgfältig gesammelt und diskutirt. Celsius sorgte dafür, dass an verschiedenen Orten der schwedischen Küste Marken in den Stein gehauen wurden; es geschah diess zuerst 1731, sodann wiederum 1752 und 1755, und als im Jahre 1785 jene Zeichen verschoben gefunden wurden,

konnte man sich der Ueberzeugung nicht mehr entschlagen, dass entweder der Spiegel der Ostsee gesunken sei, oder dass anderenfalls das Land sich über denselben emporgehoben habe, Celsius selber sprach sich im ersteren Sinne aus [6]. Andere schwedische Forscher, wie Linné [7] und Chydenius [8], traten auf Celsius' Seite, während ein weit zahlreicherer Bruchtheil derselben — Muncke führt ihrer nicht weniger als neun an [9] — die Richtigkeit der Wahrnehmungen und der aus ihnen gezogenen Folgerungen bestritt. Jessen erkannte die ersteren völlig an, deutete den Sachverhalt jedoch im Sinne einer Landhebung [10], und diese letztere Auffassung war die herrschende, nachdem L. v. Buch das Schwergewicht seiner Autorität dafür eingesetzt hatte [11]. Wir werden auf diese Erklärungsversuche später zurückkommen, für jetzt genügt es, zu sagen, dass durch sie die Frage in Fluss gebracht war, dass man auch anderweite Meeresküsten auf Niveauschwankungen zu prüfen begann und auf diese Weise die Grundlagen zu einem ganz neuen, stattlichen Kapitel der physischen Geographie legte. Um der richtigen Theorie nicht vorzugreifen, sprechen wir für's Erste von Hebungen und Senkungen und von einem Zurückweichen oder Vordringen des Meeres nur konventionell, bestimmt dagegen nur von positiven und negativen Niveauverschiebungen — erstere zu Gunsten des Landes, letztere zu Gunsten des Wassers angenommen.

§. 2. **Kennzeichen der Niveauverschiebungen.** Um eine genaue Angabe und Musterung dieser Anzeichen hat sich besonders Hahn (s. o.) verdient gemacht. Die besten und sichersten Anhaltspunkte, deren wir oben gedachten, sind in der Mehrzahl der Fälle nicht vorhanden, so dass man sich mit indirekten Merkmalen begnügen muss. Sind die Küsten steil, so deuten vorgelagerte Inseln und Riffe, Neigung zur sogenannten Scheerenbildung*) auf eine positive Verschiebung hin, und diese Indicien steigern sich, wenn nachweislich eine solche Vorlagerung durch eine Brücke mit dem eigentlichen Festlande in Verbindung getreten ist. War die Küste eine flache, so giebt das Auftreten zungenförmiger Nehrungen, die vielleicht auch am anderen Ende wieder mit dem Lande zusammenwachsen und dann einen Strandsee einschliessen, einigen Grund, zu vermuthen, dass die Niveauschwankung eine positive sei. Wenn die Küste vorgelagerter Massen entbehrt, so ist in letzterem Falle der Umriss gewöhnlich ein glatter, es entstehen Sümpfe und Altwasser, die Flüsse verrathen eine Tendenz, von der geraden Richtung ihres Laufes abzuweichen, und damit steht das häufigere Vorkommen von Deltas in Verbindung. Als indirekte Kriterien einer negativen Verschiebung haben zu gelten die zerrissenen Konturen einer Flachküste, während von einer Steilküste, längs deren sich gar kein Vorland hinstreckt, im Allgemeinen anzunehmen ist, dass das Meer ihr Terrain abgewinne. Trichterbildungen der Flüsse sprechen ebensosehr für eine negative Verrückung der Ufer-

*) Dieser Ausdruck ist schwedischen Ursprunges. „Mit wenigen Ausnahmen (Jäderen in Norwegen, Halland und Skåne in Schweden),“ sagt C. F. Frisch [12], „ist diese Küste felsig und zerrissen und geschützt durch vorliegende grössere und kleinere Felseninseln, welche man Skjären (Scheeren) nennt.“

linien, wie diess Deltabildungen im entgegengesetzten Sinne thun. Nächstdem kommen versunkene Wälder und Torfmoore in Betracht, auf deren Bedeutung namentlich von Grisebach [13] hingewiesen wurde, sodann Koralleninseln und Veränderungen des Pflanzenwuchses an Flachküsten und sogenannte Holz- oder Baumstubben*) Für gewöhnlich sind negative Veränderungen minder leicht zu erkennen oder doch wenigstens minder leicht als solche zu erweisen wie positive Veränderungen, denn neben jenen indirekten Merkmalen findet das kundige Auge des Geologen für diese letzteren auch einige direktere und positivere heraus. Er erblickt, wie im nächsten Kapitel gezeigt werden wird, an scheinbar hoch über dem Meeresspiegel für alle Zeiten gelegenen Küstenpartieen die Spuren dereinstiger Meeresbrandung, Rollsteine, Reste von Thieren, die nur im Salzwasser gedeihen, Strandlinien, Haufen von Muschelschalen**), die allem Anscheine nach am Ufer selbst zusammengetragen worden waren. Hiemit ist die Untersuchung bereits auf solche Anzeichen eines früheren höheren Standes der See hinübergeleitet, bei deren Bethätigung der Mensch selbst eine Rolle spielt. So kann man aus der Etymologie mancher Ortsnamen einen Schluss auf die Lage dieses Ortes in alten Zeiten machen, man kann geschichtliche Nachrichten über das Auftauchen von Inseln und Klippen sammeln und Forschungen darüber pflegen, wie wohl Gegenstände, die wir unter normalen Umständen uns nur in engster Beziehung mit dem Meere denken können, nach jenen Orten des Binnenlandes gelangt sein mögen, an welchen wir sie thatsächlich antreffen. Celsius z. B. und Dalin hatten Kähne und Anker in grosser Entfernung vom Lande gefunden und daraus gefolgert, dass das Land fortwährend in das früher vom Meere innegehabte Territorium übergreife [17]. — Wenn endlich Gebäulichkeiten und gepflasterte Strassen jetzt unter Wasser stehen, so kann diess wohl als ein vollgültiger Beweis dafür angesehen werden, dass das Meer erst in einer verhältnissmässig späten Zeit den gegenwärtigen hohen Stand erreicht habe***).

Wenn wir im nächsten Paragraphen daran gehen, die Küsten der einzelnen Erdtheile und Inseln musternd zu umschreiten, wird sich Veranlassung bieten, einzelne der vorstehend skizzirten Regeln mit Belegen zu versehen. In Fig. 84 sehen wir auf einer Erdkarte die zur

---

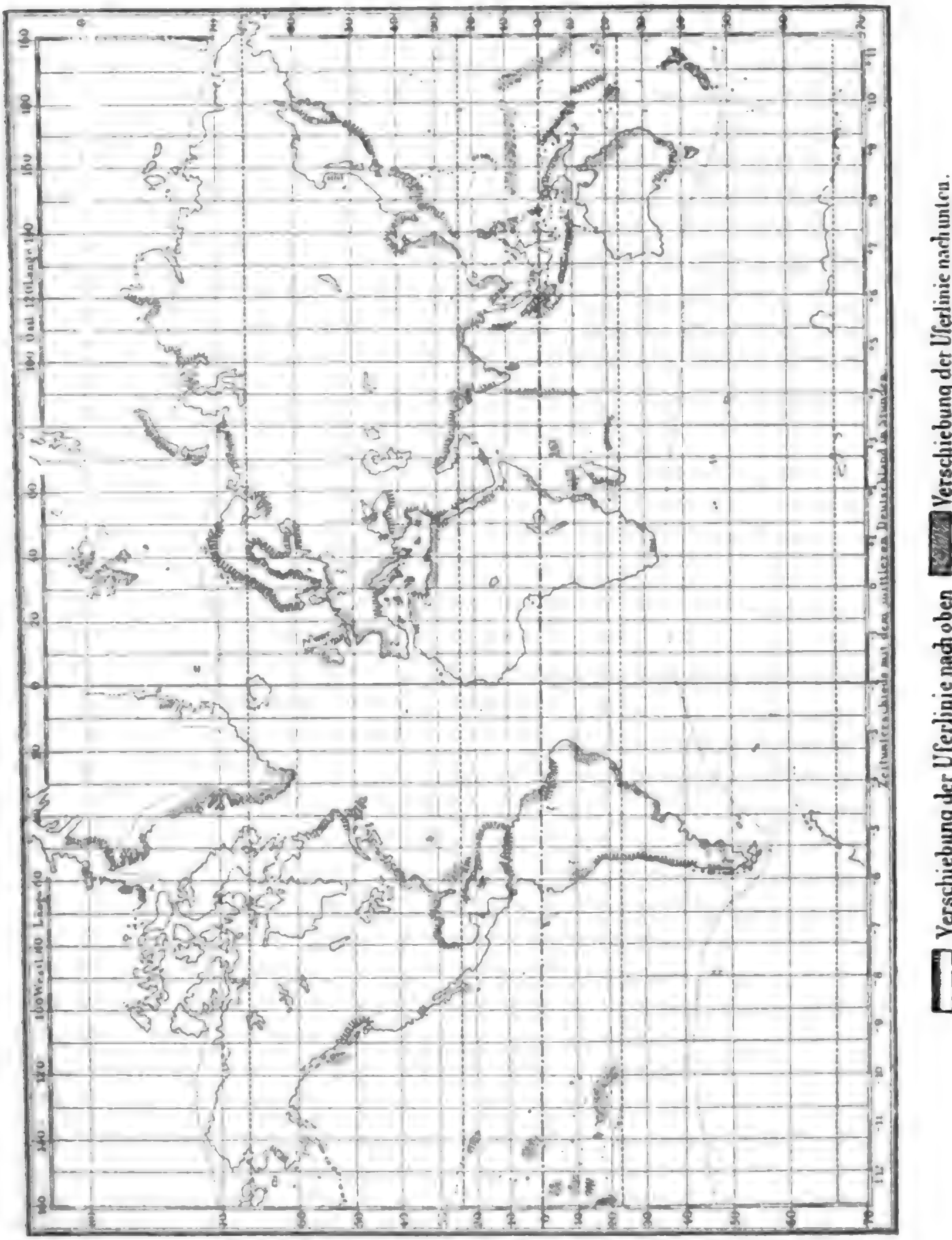
*) Ueber die Bildung dieser künstlichen Erhöhungen des Meeresbodens, an welche der Name Stubbenkammer (auf Rügen) deutlich erinnert, spricht sich Ackermann des Näheren aus [14]. Eine Sturmfluth oder auch die stetige Erosion der brandenden Wogen löst ansehnliche Trümmer vom Lande los, die mit Bäumen bestanden sind, und diese graben sich in den weichen Meeresboden mehr oder weniger tief ein. Eventuell freilich kann auch ein grosser Fluss, wie der Mississippi, solche Baumstämme — Snags — in's Meer hinausführen. Die gewaltigen Stubben an den Küsten der dänischen Inseln lehrt uns J. G. Forchhammer kennen [15].

**) Es sind diess die aus der Urgeschichte des Menschen wohlbekannten Kjökkenmöddings, „Haufen von Küchenresten, nämlich den Schalen essbarer Muscheln, besonders der Auster, Fischgräten, Knochen von Vögeln und Vierfüsslern", zu deren Bildung wohl die Thätigkeit einer ganzen Reihe von Generationen erfordert wurde [16].

***) Selbstverständlich ist die innere Güte der Indicien eine sehr verschiedene, was auch Hahn selbst keineswegs entgangen ist. Ueber die Vorzüge und Nachtheile derselben verbreitet sich ziemlich ausführlich Krümmel [18].

Zeit in vertikaler Bewegung befindlichen Uferlinien (nach Leipoldt) verzeichnet.

Fig. 84.



§. 3. **Geographische Vertheilung der verschiedenen Uferschwankungen.** Wir beginnen unsere Wanderung mit Europa. Von Spanien und Portugal ist so gut wie nichts zu berichten, nur der Nordrand der Halbinsel hat eine Tendenz zu negativer Bewegung, und ein Gleiches

gilt für die atlantische Küste Europa's bis zur jütischen Halbinsel und für Irland und das südliche England [19]. Die Westküste Schottland's, England's und Wales' unterliegt der entgegengesetzten Tendenz [20], doch ist die Veränderung dortselbst keine rasche; auf alte Hochterrassen an der Küste von Lochaber glaubt J. Smith den Schluss begründen zu dürfen [21], dass einmal das Meer durch mindestens 40 Jahre genau das nämliche Niveau beibehielt. Die gewaltigen Einbrüche, mit welchen das Meer in historischer Zeit Ost- und Nordfriesland heimgesucht hat, wurden durch Landsenkungen vorbereitet und erleichtert; merkwürdigerweise hält diese Bewegungstendenz an der dänischen Küste inne; Jütland hat Landgewinne zu verzeichnen, wie Forchhammer zu konstatiren in der Lage war [22]. Auf die gleiche Quelle ist die Nachricht von einer negativen Verschiebung der Elementengrenze für das südliche Schweden zurückzuführen. Im Uebrigen ist die Schwankung der gesammten skandinavischen Halbinsel, wie wir schon in §. 1 erfuhren, eine positive, und dasselbe gilt für Finnland und die nördlichen Ostseeprovinzen*). „Auch die baltischen Küsten Deutschland's," lesen wir bei Leipoldt [24], „sind stark gesunken;" allerdings ist diess die jetzt herrschende Ansicht, allein dieselbe scheint noch keineswegs ausser Zweifel zu stehen. Ackermann begleitet [25] mehrere der von Hahn [26] beigebrachten Wahrscheinlichkeitsgründe mit einem „vielleicht", aber P. Lehmann, ein durch scharfen Blick ausgezeichneter Beobachter, sieht sich überhaupt ausser Stande, pro oder contra zwingende Gründe anführen zu können [27]; dass bezüglich der so oder so gerichteten Bewegung der deutschen Ostseeküste zur Zeit noch ein „non liquet" am Platze sei, erhelle schon daraus, dass Paschen bei der Berechnung der Pegelbeobachtungen und Geinitz bei der geologischen Landesaufnahme Mecklenburg's zu ganz entgegengesetzten Resultaten gekommen seien. Anhangsweise sei noch bemerkt, dass Jan Mayen, Spitzbergen und Nowaja Semlja einer positiven Bewegung unterliegen, dass an den Küsten des weissen und karischen Meeres ähnliches beobachtet wurde, und dass wahrscheinlich auch die Obi-Mündung und die Nordspitze Sibiriens dem gleichen Gesetze unterliegen [28]. Island scheint sich völlig neutral zu verhalten. Springen wir nunmehr zu den Küsten des mittelländischen Meeres über, so begegnen wir in rascher Abwechselung Ufersäumen, deren Bewegungsrichtung die entgegengesetzte ist; vieles, was wir darüber wissen, danken wir der schon oft erwähnten Monographie Th. Fischer's [29]. Ligurien, die Balearen, Corsica und Sardinien sind positiv bewegt, Sizilien wenigstens grossentheils. Die äusserste Westküste dieser Insel ist sogar sehr energischen Schwankungen unterworfen, denn während der Hafen von Trapani, nach dem Berichte des Polybios, noch die Seeschlacht zwischen Römern und Karthagern ermöglichen konnte, ist er heute nur wenig über einen halben Meter tief. Die toskanische Küste betrachten wir mit Reyer als aufsteigend [30], obwohl wir nicht verschweigen wollen, dass Th. Fischer [31] einige der von Jenem beigebrachten Beweisgründe nicht als beweiskräftig erachtet. Das Sinken der venetianischen Küste wird durch augenfällige Beweise, wie ver-

---

*) Im Archipel von Oesel dürfte nach Hahn [23] der neutrale Punkt zwischen Hebung und Senkung gelegen sein.

sunkene Bauten und Mosaikböden, dargethan, für Dalmatien hatte es schon v. Klöden [32] aus der Gestalt der vorgelagerten Inselkette erschlossen. Sehr auffallende Zeugnisse für ein jähes Sinken und Aufsteigen der Küste enthält die Umgebung des süditalischen Puzzuoli; ein im III. Jahrhundert unserer Zeitrechnung angelegter Tempel war so hoch vom Wasser überfluthet worden, dass die Bohrmuscheln des Meeres ganze Kränze von Löchern in den chemisch erweichten Stein hineinzubohren vermochten, und heute wiederum erhebt sich selbst der untere Rand dieser Kränze 4 m über den Wasserspiegel — freilich müssen wir es mit Peschel [33] dahingestellt sein lassen, ob hier nicht vulkanische Kräfte mitwirkten (s. u.). Soweit die Gestade des ägäischen Meeres genau untersucht sind, oscilliren sie im Augenblicke vertikal nach oben [34], auch das gesammte schwarze Meer erscheint vom positiven Vorzeichen beherrscht, in erster Linie die Südküste und die Krim.

Folgen wir von nun an dem Uferrande des Mittelmeeres. Die früher vielfach gehegte Meinung, dass längs der Dardanellen ein erheblicher, in letzter Instanz auf Ansteigen der Küste zurückzuführender Landgewinn seit den homerischen Zeiten stattgefunden habe, wird von Calvert schlagend widerlegt [35], ja es scheint sogar, wie auch Virchow betont [36], das Land weit eher eine Einbusse erlitten zu haben. Die Behauptung, dass das alte Troja mehr in's Innere gerückt worden sei, ist unhaltbar. Kleinasien oscillirt, die lykische Küste ausgenommen, positiv, Cypern und die syrische Küste thun ein Gleiches, nur bei Beirut soll auf kleiner Strecke eine negative Bewegung bemerkt worden sein [37]. Bei Suez hebt sich nach v. Kremer [38] die Küste, im Nildelta senkt sie sich, und nur die gewaltigen Alluvionen des Flusses lassen die abwärts gehende Bewegung nicht so deutlich hervortreten. Für Nordafrika gilt in Kürze folgendes Bewegungsschema: Unterägypten —, Cyrenaika +, Tripolitanien —, Tunis +*), östliches Algerien —, westliches Algerien und angrenzende Theile von Marokko +. Allerdings ist es schwer, das auch von Fischer beobachtete Austrocknen früherer Häfen und Verschwinden früherer Buchten [41] sich anders als im Zusammenhange mit einer vertikal-positiven Niveauschwankung zu erklären.

Der afrikanische Kontinent ist rasch umschritten; östlich von der Kapstadt, bei Port Natal und am nördlichen Ausgange der Strasse von Moçambique finden sich Spuren einer positiven Bewegung, der auch die Westküste von Madagaskar sammt den Maskarenen unterworfen ist; die Comoren und Seychellen scheinen dem sogenannten grossen Senkungsfelde des indischen Meeres anzugehören, das bei den Malediven beginnt und sich bis zur Küste von Sansibar erstreckt [42]. Dass die Ufergrenzen Arabiens an verschiedenen Stellen sich nach oben verschieben, weiss man seit Niebuhr's Zeit [43]. Ein analoges Gebiet verläuft vom Nordende des persischen Golfes bis zur Insel Ceylon, dieselbe mit inbegriffen, nur unterbrochen durch eine die Indus-

*) Dieses Plus verdient allerdings, wie es auch auf der Karte geschah, mit einem Fragezeichen versehen zu werden. Es sind nämlich die von v. Tchihatcheff auf Hebung gedeuteten Spuren [39] nach Th. Fischer [40] einer anderen und besseren Interpretation fähig.

mündung umschliessende Zone negativer Oscillation, welch' letztere eben hiedurch den uns aus Band I (S. 379 ff.) bekannten Angriffen der See ausgesetzt ist. Ganz Hinterindien ist, soweit es überhaupt zu den erforschten Ländern zählt, im Aufsteigen befindlich, nur Tongkin und Cochinchina scheinen eine Ausnahme zu machen. Hier beginnt ein Saum mit Senkungserscheinungen, der sich durch Südchina bis zum Ausflusse des Yangtzse hinaufzieht [44]. Die nordchinesische, mandschurische und koreanische Küste steigen hingegen ebenso wie Sachalin mit der Mündung des Amur, wie ganz Kamtschatka und wie die ostasiatische Inselschnur von den Kurilen bis Formosa. Dass insbesondere Japan diese positive Bewegung mitmache, begründet Rein [45] durch den Hinweis auf zahlreiche alte Strandlinien und Bohrmuschelresiduen. Die Nordseite Neu-Guinea's und der grösste Theil der Ostküste Neu-Holland's verhalten sich negativ, Tasmanien und die ihm zunächst liegenden Ufer Australiens heben sich, und Neu-Seeland bietet, wie v. Hochstetter fand [46], das merkwürdige Beispiel einer durch seine Längsaxe in einen sinkenden (westlichen) und in einen steigenden (östlichen) Abschnitt zerlegten Insel. Die etwas bunten und keineswegs schon ganz geklärten Bewegungsverhältnisse Polynesien's sind aus der Karte zu ersehen.

Wir wenden uns jetzt der neuen Welt zu, und zwar zunächst der südlichen Hälfte derselben. Die negative Oscillation der patagonischen Westküste ist strittig, um so wahrscheinlicher dagegen die positive Schwankung längs der Küsten von Chile und Peru [47]. Darwin's berühmtes Werk über Südamerika [48] ist mit zahlreichen Nachrichten über diesen Punkt erfüllt, und eine gewisse langsame Verschiebung der Niveaulinie scheint aus diesen Nachrichten doch auch dann zu folgern, wenn man mit Suess [49] viele derselben als unzulänglich und nicht beweiskräftig betrachtet. Nördlich grenzt vielleicht eine Stelle schwacher Senkung an. Brasilien's Küste steigt anscheinend in ihrem südlichen Theile, sinkt anscheinend in ihrem nördlichen; ersteres wird namentlich durch die Sambaquis, das brasilianische Analogon der Kjökkenmöddinger, bewiesen [50]. Die Umgegend von Panama ist, ebenso wie die Küste von Venezuela, in der Erhebung begriffen*), auch Guyana participirt möglicherweise an der-

*) Reiss konstatirte diesen Umstand [51] fast zu seiner Verwunderung, denn als er seine Barometermessungen in Südamerika mit denjenigen von älteren wissenschaftlichen Reisenden verglich, kam ihm zuerst der Eindruck, als sei das ganze Massiv der Cordilleren, und mit ihm der Kontinent, im stetigen Sinken. Es zeigte sich jedoch, dass nur die unzuverlässigen Methoden der Physik des XVIII. Jahrhunderts die Schuld an jener stetigen Abnahme der Höhendimensionen einzelner Gipfel trugen. Der Konquistador Castellanos erkannte die Hebung der Bucht des Magdalenenstromes schon 1545 und charakterisirte sie treffend [52] in folgenden Oktaven, deren deutschen Text der Verfasser Herrn Vizekonsul Knapp in Nürnberg verdankt:

„Hay campo por allí muy estendido,	„Schau das Gefild dort weithin ausgebreitet,
Ya poblado, de vacas y de yeguas,	Belebt von Rinderheerden, led'gen Rossen —
Cujo compas se ve que mar ha sido	Wohin des Forschers Blick auch suchend gleitet,
Por espacio de dos y aun de tres leguas,	Schien es vom Ocean einst überflossen;
E ya de tal manera retraido	Wohl lang ist's, seit er mählig rückwärts schreitet
Que tiene para siempre hechas treguas,	Und Waffenruhe mit dem Land geschlossen.

selben, und nicht minder dürfte die Mündung des Amazonas, die man, auf einen Ausspruch von Agassiz hin, zu den Senkungsgebieten zählte, sich neuerlich wieder einer entgegengesetzten Bewegung ergeben haben; wenigstens schliesst diess Reiss daraus, dass im Brackwasser des genannten Flusses alte Sedimente wieder zum Vorschein kamen. — Die grossen und kleinen Antillen scheinen durchaus Landerwerb aufzuweisen, wogegen die Bermudas Terrain an das Meer verlieren [53], und von der Bahama-Gruppe lässt sich dasselbe aussagen, wie von Neu-Seeland. Die Westküste Nordamerika's bietet wenig deutlich ausgesprochene Zeichen für die eine oder andere Art der oscillirenden Bewegung; am stärksten manifestirt sich ein Steigen gegenüber der Insel Vancouver und an einzelnen Küstenpunkten des früher russischen Besitzantheiles. An der Ostküste tritt die Vertikalverschiebung stärker hervor; Texas, Louisiana und Florida, New-Foundland und Labrador bewegen sich in positivem, die dem Atlantik zugewandten Uferstaaten der Union in negativem Sinne. Mit am besten sind wir über die Schwankungen des grönländischen Uferrandes unterrichtet, wo Pingel Merkmale einer unzweideutigen Landsenkung entdeckte [54.] Alle Nordpolfahrer, welche durch den Smith-Sund vordrangen, lieferten weitere Beiträge zur schärferen Bestimmung der Grösse und Art dieser Niveauverschiebung, welche im höheren Norden ihr Zeichen wechselt. In vielleicht allzu poetischer Sprache schildert Bessels den gegenwärtigen Stand unseres Wissens von der Bewegung Ostgrönland's, wie folgt [55]: „Die Hauptaxe der Oscillationen liegt zwischen dem vierundsiebzigsten und fünfundsiebzigsten Parallelkreise. Wie der Brustkorb des Menschen bei sehr tiefem Athemzuge sich hebt und eine Senkung des Leibes bedingt, so strebt dort der nördliche Theil der Küste nach oben, während die Hauptmasse des Südgestades langsam in die eisige Fluth sich senkt.“

§. 4. **Einstweilige allgemeine Ergebnisse.** Ehe wir es versuchen, uns über die Ursache oder die Ursachen dieser *langsamen Oscillationen der Erdrinde* theoretisch klar zu werden, haben wir zunächst die Frage aufzuwerfen, ob unsere geographische Synopsis uns die spätere Untersuchung erleichtert, ob aus ihr etwa ein *Zusammenhang der geographischen Lage mit gewissen Formen jener Niveauschwankung* erschlossen werden kann. Die Ausbeute ist

Dejando gran espacio descubierto	Denn fern am Horizont schwingt sich die Welle
Desde donde residen, que es el puerto.	Um Thurm und Leuchte an des Hafens Schwelle.
Y ansí por las cabañas y el aprisco	Dort, wo zerstreut die Hütten und die Ställe,
Do pastan los ganados destas gentes,	Wo Weidevieh benagt die dürft'gen Schollen,
Se ven muchas horruras, mucho cisco,	Sieht man von Meeres-Abraum mächt'ge Wälle,
De marinas menguantes y crecientes,	Wie Ebb' und Fluth sie hin und wieder rollen;
Y aqui y allí montones de marisco,	Der Salzfluth Muschelschmuck, die Turitelle,
Con otros muestras claras y patentes,	Cypräen, Nautilus, von Tang durchquollen —
Por do conocerá quien puede vello	Dort hat ringsum, davon ist man durchdrungen,
Ser mar antiguamente todo ello.“	Neptun den mächt'gen Dreizack einst geschwungen.“

[illegible]ache, und es ist nicht zu verkennen, dass Peschel zu weit [illegible] als er die ihm später von unbarmherzigen Kritikern zum herben [illegible]urfe angerechneten Worte niederschrieb [56], ein geschärftes Auge müsse schon an gewissen Aeusserlichkeiten der Küste den dort sich vollziehenden Process erkennen. Selbst die Behauptung [57], dass die Hebungen den Norden und Westen, die Senkungen den Süden und Osten der Kontinente bevorzugen sollen, ist nur bedingt, nämlich für die neue Welt, zutreffend. Auch für Polargebiete besteht keineswegs jene Gesetzmässigkeit, welcher zufolge in jenen die positive Niveauverschiebung mit Ausschliesslichkeit herrschen sollte.

Was sich an Regeln aus dem bislang angesammelten Beobachtungsstoffe entnehmen lässt, hat Hahn zusammengestellt [58]. In einer unseren Zwecken besonders entsprechenden Kürze hat aber wiederum Zöppritz aus den von Hahn erzielten Resultaten einen Auszug veranstaltet, der deshalb vollinhaltlich hier seinen Platz finden möge [59]: „Tiefe, inselleere oder nur von Korallenbauten besetzte Meerestheile bilden sehr häufig Senkungsfelder, denen auch begrenzende Küsten zugerechnet werden können. Mittelmeere zeigen vorwiegend aufsteigende Küsten. Auf sinkenden Gebieten fehlen thätige Vulkane. Eine Küste mit thätigen Vulkanen befindet sich in der Hebung. Diese beiden Sätze lassen aber keine Umkehrung zu, denn auch viele vulkanfreie Gebiete, z. B. Skandinavien, steigen. Die geologische Zusammensetzung und das geologische Alter der Gebiete scheint auf die Richtung ihrer Bewegung ohne Einfluss zu sein. Das anscheinende Vorwiegen von Hebungen gegen Senkungen erklärt sich durch die leichtere Nachweisbarkeit der ersteren. Die Vertheilung von Hebung und Senkung ist einem unaufhörlichen Wechsel unterworfen."

In allerneuester Zeit hat sich gegenüber jenem vertrauensvollen Eifer, der allerorts nach Spuren einer Vertikalverschiebung der Uferlinien suchte, eine ziemlich skeptische Anschauung unter den Geographen und Geologen verbreitet, deren erstes Auftreten allerdings noch in eine weit frühere Periode zurückreicht*). Man geht jetzt vielfach von der Ueberzeugung aus, dass zahlreiche sonst auf derartige Schwankungen zurükgeführte und hinwiederum selbst als Kriterien ersterer verwendete Erscheinungen thatsächlich mit anderen und zwar besonders mit den vom Land auf das Wasser ausgeübten Gestalt-ändernden Kräften zusammenhängen. Von Kompendien unserer Wissenschaft hat zuvörderst dasjenige Supan's mit der üblichen dogmatischen Darstellungsweise gebrochen [61], gewiss mit vielem Rechte. Es ist zwar nicht zu verkennen, dass seine Beseitigung mangelhaft beglaubigter Spiegelschwankungen etwas weit geht; das Fragezeichen spielt auf seiner Karte eine noch weit eingreifendere Rolle, als auf der unsrigen,

---

*) So soll sich z. B. der bekannte Bergbaukundige Russegger über das in §. 3 herangezogene Beispiel des Tempels von Puzzuoli dahin geäussert haben [60]: „Ich kann mich gar nicht des Gedankens entschlagen, dass die Pholadenlöcher schon von vornherein im Kalksteine vorhanden waren, aus welchem die Säulen gebrochen wurden und dass die Alten, ohne zu ahnen, welch' harte Nuss sie dadurch den Gelehrten späterer Zeiten zu knacken gaben, sich kühn über diesen kleinen Uebelstand hinwegsetzten." Eine Lösung des Knotens gewährt diese radikale Auslegung wohl nicht.

und findet sich bei Gegenden, wie bei manchen im indischen Ocean gelegenen Inselgruppen, deren Bewegung für Andere ausser Zweifel gesetzt ist. Mit Energie bekämpft Supan [62] eine Lieblingsidee Peschel's, diejenige der Schaukel- oder Schwengelbewegung, als deren klassiches Land besonders Neu-Seeland angeführt wurde, zu deren Verfechtern aber, wie wir oben sahen, auch der sonst sehr kühl reflektirende Bessels gehört. Wir glauben auch, dass mit diesem Bewegungsschema früher ein etwas gewagtes Spiel getrieben worden ist, möchten aber gleichwohl die Akten darüber, ob dasselbe gänzlich zum Ballaste veralteter Ansichten zu zählen sei, noch lange nicht für geschlossen halten.

§. 5. **Aeltere Theorieen.** In §. 1 erfuhren wir, dass eine ältere Zeit nicht im Lande, sondern im Wasser das eigentlich Bewegliche erblickte. Den einzigen Jessen ausgenommen, der noch dazu seine Ansichten über Landerhebung mit ganz sonderbaren krystallographischen Spekulationen vermengte und jenen dadurch allen Kredit nahm, dachten alle Fachmänner an ein Sinken des Meeres, resp. an eine progressive Versandung. Erst v. Buch (a. a. O.) appellirte an ein in diesem Sinne gar nicht vorhandenes Gleichgewicht der Meere, welches ein auch nur lokales Schwinden des Niveau's nicht gestatte; die wahrgenommenen Erscheinungen könnten nur davon herrühren, dass entweder das Land aus dem Meere aufsteige oder in dieses versinke; der grosse Geologe war in diesem Sinne der Begründer der zwar dem Namen, nicht aber dem Begriffe nach noch heute anerkannten Lehre von den säkulären Hebungen und Senkungen. Es wird erforderlich sein, die Gründe kennen zu lernen, durch welche man diese ältere Doktrin stützen zu können vermeinte, ehe wir uns den besser beglaubigten Erklärungen des Oscillationsprocesses zuwenden.

L. v. Buch selbst bethätigte sich auch in diesem Falle als grundsatztreuer Vulkanist; die im Erdinneren sich entwickelnden Dämpfe hoben, wenn es gerade zu keiner Explosion kam, die Felsmassen in die Höhe, welche an anderen Orten wieder in's „Nachsacken" geriethen und sanken. Dass man mit diesen Anschauungen auch in unserem Jahrhundert noch Anklang findet, hat uns schon in Band I (S. 398) das Beispiel Möhl's [63] gezeigt. Wesentlich verfeinert erscheint die plutonistische oder magmatische Hypothese bei Pilar [64], der sich zum Theile auch auf die Ansichten von Rickets [65] stützt und auch auf die von Phillips in dessen Werk „Vesuvius" vorgetragene Deutung der skandinavischen Hebungserscheinungen hinweist. In Einem Punkte hat Pilar, wie uns scheint, wohl das Richtige getroffen; wenn man sich zu seiner Lehre von den in's feurigflüssige Erdinnere hinabtauchenden Schollen bekennt, so braucht man sich vor dem Einwurfe Derer nicht zu fürchten, die behaupten, es müsse jeder an einem Orte beobachteten Hebung eine ebenso grosse Senkung an einem anderen Orte entsprechen*). Trotzdem kann die Buch'sche Auffassung heute

*) Dieser Einwurf, welcher der Gleichgewichtstheorie v. Buch's entspringt, ist insbesondere von F. Pfaff [66] erhoben worden. Auch Krümmel huldigt [67] jener bis zu einem gewissen Grade, nur scheint ihm damit die Lehre von chronischen Hebungen und Senkungen in keinem Widerspruche zu stehen, da er ja das völlige Gleichgewicht des Meeres und des Festlandes, beides vom Meeresboden als

keinen Anspruch mehr auf ausschliessliche Berücksichtigung erheben: J. Herschel's Begründung der Schaukelbewegung wird sogar von Peschel [68], wenn auch nur zögernd, zurückgewiesen*). Prüfen wir jetzt die im Laufe der Zeiten erhobenen Einwände.

Nachdem Chambers [69] den vorsichtigen Vermittelungsvorschlag gemacht hatte, von einer Verquickung der Namengebung mit der Erklärung überhaupt abzusehen und, wie es oben geschah, blos von Verschiebungen der Elementengrenze schlechtweg zu sprechen, begann Tyler [70] den Rückgang der Meere als den wahren Grund der umstrittenen Erscheinung zu betrachten, und Trautschold pflichtete ihm bei [71], indem er vorschlug, das Wort „après nous le déluge“ durch „après nous la sécheresse et le froid“ zu ersetzen. Die unaufhörlich sich erneuernde Hydratbildung entziehe den Meeren das Wasser, Senkungen dagegen — resp. was man gewöhnlich mit diesem Namen bezeichne — würden hervorgebracht durch das Zusammensintern von Schlammablagerungen, sowie durch Unterwaschung und Auflösung von Ufergestein. Später hat der baltische Geologe auch den paläontologischen Beweis für die Richtigkeit seiner Auffassung anzutreten versucht [72].

Folgt man diesen Erwägungen, so erkennt man in dem zu lösenden Probleme vom eigentlichen Wesen der vertikalen Niveauverschiebungen einen blossen Unterfall der hochwichtigen geophysikalischen Frage: Ist das Massenverhältniss von Land und Wasser auf der Erde ein annähernd konstantes oder ist es erheblicheren Schwankungen unterworfen?**) Für die letztere Anschauung haben sich, ausser Trautschold (s. o.), besonders Lemberg [73] und Reyer [74] entschieden. Wenn man jedoch bedenkt, dass in historischen Zeiten diese Annahme sich noch keineswegs fühlbar gemacht hat, wenn man weiter bedenkt, dass der Salzgehalt der See so gut wie gar keinen zeitlichen Schwankungen unterliegt, so muss man sich eher für die erstere Alternative aussprechen. Selbstverständlich müsste für die Binnengewässer, wenn die Austrocknungshypothese

---

gemeinsamer Basis aus gerechnet, nachgewiesen zu haben glaubt (s. Kap. II. §. 9 der vorigen Abtheilung).

*) Man kann eine an sich bedenkliche Lehrmeinung nicht zugleich klarer und rhetorisch schöner darstellen, als es von Peschel geschieht. Er geht davon aus, dass das in jedem Falle labile Gleichgewicht zwischen dem Magma und der festen Erdkruste in einem gegebenen Augenblicke gestört sei, und fährt dann fort (a. a. O.): „Dadurch erfährt das geschmolzene Erdinnere unter der Sohle der See einen Druck, der es aus dem Gleichgewichte und seiner Ruhe verdrängt. Der flüssige Brei wird also seitlich zu entschlüpfen suchen und an den Rändern der Decke die Centralmassen der Gebirge emporpressen. Hier gleichen also Festland und Meeresboden zweien Wagschalen: wenn die eine belastet wird, steigt die andere empor ... Wenn wir demnach zögern, diesen Aufschluss uns anzueignen, so geschieht es, weil er immer nur zulässig wäre, wenn wir noch die erstarrte Rinde der Erde uns als sehr dünn vorstellen dürften.“ Die Autorität von Lyell und Hopkins (Band I, S. 315) war für Peschel's Entsagen bestimmend.

**) Die hiemit allerdings in verwandtschaftlicher Beziehung stehende, jedoch nichts weniger als identische Frage, ob die heutigen Kontinente und Weltmeere auch schon in der geologischen Vorzeit Kontinente und Weltmeere gewesen seien, behalten wir uns vor, da zu behandeln, wo ihr eigentlicher Platz ist: in dem der Morphologie gewidmeten fünften Kapitel der nächstfolgenden Abtheilung.

mit der Wirklichkeit stimmte*), dasselbe, wenn auch in kleinerem Maassstabe, gelten, wie für die Oceane. Man hat jedoch gerade hierüber in der jüngsten Zeit ziemlich umfassende Studien angestellt und glaubt mit ziemlicher Sicherheit ermittelt zu haben, dass die da und dort wirklich nachgewiesenen Abnahmen des Flüssigen niemals gross genug seien, um nicht mit Zuziehung meteorologischer Momente eine ausreichende Erklärung zu finden**). Zudem hat Jentzsch [80] auf ein Argument gegen Trautschold aufmerksam gemacht, welches volle Beachtung verdient: Das in die Spalten und Poren der Erdrinde eindringende Wasser wird dort nicht durchweg gebunden, vielmehr wird ein grosser Theil desselben durch die Hitze des benachbarten Magma's in Dampf verwandelt und in dieser Gestalt durch vulkanische Ausbrüche u. dgl. die Erdoberfläche zurückgegeben. Damit sind wir jedoch bereits zu der der Gegenwart angehörigen Reform unserer Ansichten über Küstenschwankungen gelangt, die uns in einem besonderen Paragraphen beschäftigen soll; sehr nützlich bei Abfassung desselben ist uns die orientirende Arbeit von v. Drasche [81] gewesen.

§. 6. **Die Theorieen der neuesten Zeit.** In ein ganz anderes Fahrwasser ward die uns hier beschäftigende Untersuchung geleitet, als E. Suess seine von Vielen für paradox erachtete und trotz dem rasch in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses gerückte These aufstellte [82]: Es giebt keine irgend namhaften Vertikalbewegungen der Erdrinde, durch welche ein bestimmter Theil derselben dem Erdmittelpunkt genähert oder von ihm entfernt würde, vielmehr lassen sich alle bisher auf diese Be-

*) Wir stellen, beiläufig bemerkt, nicht durchaus in Abrede, dass eine gewisse asymptotische Annäherung des Zustandes unserer Erde an denjenigen unseres Satelliten stattfinden kann (Band I, S. 97), nur halten wir die Jahrtausende, von denen doch bei Trautschold u. A. allein die Rede sein kann, für einen verschwindend kleinen Zeitraum gegenüber den zur Herbeiführung jenes Endzustandes nothwendigen Aeonen.

**) Berghaus — in den Vierziger — und Wex — in den Siebziger Jahren — lenkten die Aufmerksamkeit auf die angeblich progressive Abnahme des Wassers der deutschen Flüsse [75], allein anderswo schienen diese Abnahmen auch wieder durch das Anschwellen mancher Ströme und Seen kompensirt zu werden. Der Entwaldung alle Schuld an ersterwähntem Vorgange aufzubürden, wie man allerdings vielfach geneigt war (S. 247 dieses Bandes), gieng nicht gut, wenn man die Nachrichten aus anderen Welttheilen zur Vergleichung herbeizog. So erlebte die Antillen-Insel St. Cruz ihre grösste Dürre im Jahre 1661, und doch war damals ihr Baumwuchs noch ein jungfräulicher [76]. Hagen that denn auch durch eine gründlichere Diskussion dar, dass der behauptete Defekt, insonderheit bei'm Rhein, gar nicht vorhanden sei [77]. Für eine grössere Anzahl in- und aussereuropäischer Gewässer hat Fritz die analoge Vergleichung durchgeführt und, was er fand, in folgenden Sätzen gesammelt [78]: „Trotz der theilweise sehr entschieden ausgesprochenen Wechsel in den Niederschlägen und abfliessenden Wassermengen ist eine weitgehende Veränderung derselben auf der Gesammterdoberfläche nicht möglich, da sich die Ursachen dazu in anderen Erscheinungen, namentlich in den Temperaturen, leicht bemerklich machen müssten, was nicht der Fall ist; es können nur schwache Oscillationen um ein allgemeines Mittel sein, wobei aber für einzelne Ländergebiete sehr auffallende Unterschiede dadurch hervortreten können, dass die Windrichtungen sich periodisch ändern." Meteorologisch zu erklären — wenn überhaupt begründet — ist auch die Notiz italienischer Zeitungen, dass der ungewöhnlich milde Winter von 1882 ein beträchtliches Sinken des Mittelmeerspiegels längs der ligurischen und südfranzösischen Küste bewirkt habe [79].

wegungsform zurückgeführten Phänomene ungezwungener durch Seespiegelschwankungen, durch Gestaltveränderungen der Hydrosphäre, erklären. Mit diesen Worten ist der akute Gegensatz der neuen gegenüber der alten Vorstellung gekennzeichnet*). Suess steht, wie allerdings vor ihm schon Leconte und Dana**), auf dem Standpunkte, dass einzig die Kontraktions- und Faltungsbewegungen der in Abkühlung begriffenen Erdkruste das Erklärungsmittel abgeben könnten, wozu dann vielleicht noch eine — eben auch mit der Abkühlung zusammenhängende — Aenderung der Rotationsdauer der Erde hinzutrete (Band I, S. 213 ff.). Wir werden in dem von der Gebirgsbildung handelnden Kapitel der achten Abtheilung auf die Anschauungen von Suess, A. Heim u. A. ebenso zurückzukommen haben, wie wir dieselben bereits in früheren Abschnitten (Band I, S. 324 ff., S. 360 ff., S. 401 ff.) zu streifen hatten. Leider konnte die für den dritten Theil der Gesammtdarstellung Suess'scher Ideen („Antlitz der Erde") in Aussicht gestellte nähere Ausführung der in jener einleitenden Note blos skizzirten Gedanken für das vorliegende Buch nicht abgewartet werden.

F. Pfaff sucht alle Faktoren auf [84], welche eine Hebung oder Senkung des Meeresspiegels bewirken könnten, räumt dabei jedoch auch der Hebung oder Senkung der Festlandmassen noch immer einen Platz ein. Toula [85] geht insoferne einen Mittelweg, als er zwar auch Druck und Zusammenziehung ungleicher Art zwischen den einzelnen Theilen der sich kontrahirenden Erdkruste in den Vordergrund stellt; da er aber, ähnlich wie Pilar, diese Kruste als aus Schollen zusammengesetzt sich denkt, so sind energischere Radialbewegungen nicht gänzlich in Abrede zu stellen. Dass Schmick ein Gegner derjenigen Lehre ist, welche auch die Festlandmassen aktiv an der Bewegung betheiligt sein lässt, versteht sich von selbst; alle wann immer und wo immer am Pegel nachgewiesenen Niveauschwankungen sind ja, im Sinne seiner bekannten Hypothese (vgl. S. 285 dieses Bandes), auf Attraktionswirkungen der Himmelskörper zu beziehen [86].

Schon vielfach, so besonders auch bei F. Pfaff (s. o.), ward der Ablagerung von Detritus, der Sedimentbildung und den daraus resultirenden Verlegungen anziehender Kräfte eine gewisse Rolle bei der Erklärung der sogenannten säkulären Hebungen und Senkungen zugewiesen. Den festen Untergrund für alle Betrachtungen dieser Art liefert die uns von früher her bekannte analytische Arbeit von Zöppritz [87] (S. 166 des ersten Bandes). Auch Fisher verbreitet sich hierüber in dem von allen höheren Rechnungsweisen Abstand nehmenden siebzehnten Kapitel („Geological movements explained") seiner trefflichen Physik der Erdrinde [88]. Rozet hatte schon früher er-

*) Der Geschichtschreiber steht hier vor der fesselnden Erscheinung, dass eine längst zu den Todten geworfene, ja belächelte Ansicht ihre Auferstehung erlebt: wie manchen Spott hatte der alte v. Hoff von den Jüngern L. v. Buch's zu erleiden! Eine ähnliche historische Umwalzung begegnete uns schon bei den Hypothesen über die Natur der Sonnenflecke (Band I. S. 54 ff.); etwas Analoges wird theilweise später die Entwickelung der Gletschertheorieen ergeben.

**) Neuerdings scheint Dana selbst von seiner früheren „rigidistischen" Auffassung zurückgekehrt und zu einem Anhänger der Lehre vom Magma geworden zu sein [83].

wogen [89], ob nicht Aenderungen im Potentiale des Alpengebirges die geognostisch nachzuweisenden Ueberfluthungen des Pariser Beckens verursacht hätten, und Bruchhausen (Band I, S. 195) versuchte sich an einer umfassenden Ausführung solcher Aufgaben, doch fehlte damals noch zu sehr die mathematische Strenge, welche allein vor Ausschreitungen der Phantasie bewahren kann. Dieser die nöthige Rücksicht geschenkt und zugleich betreffs des Stoffes, der in wechselnder Gestalt und Mächtigkeit allerdings eine recht verschiedene Anziehung auf die leicht bewegliche flüssige Hülle der Erde ausüben kann, eine tiefgreifende Aenderung angeregt zu haben, ist das unleugbare Verdienst von Penck. Das Schriftchen [90], in welchem er seine Vorschläge niederlegt, ist auch sonst durch eine Fülle frischer Gedanken und durch sorgsamste Beachtung der einschlägigen Literatur ausgezeichnet. Dasselbe gelangt zu folgendem generellen Ergebnisse: Die Suess'sche Theorie trifft insoferne völlig das Richtige, als sie lediglich von Bewegungen des Meeres, nicht aber von solchen des Landes wissen will; ihre wesentliche Ursache aber fanden und finden noch diese Bewegungen in dem Wechsel der auf das flüssige Element nach den Gesetzen der Gravitation einwirkenden Eisbedeckung des Festlandes.

Dass ein solcher Wechsel der Attraktion Niveauschwankungen bedingen kann und muss, ist a priori zuzugeben, wenn schon die Intensität dieser Schwankungen, die Grösse der Amplituden, von Penck etwas überschätzt wird*). Sehr vortheilhaft erweist sich das von Penck erdachte Auskunftsmittel bei der Erklärung der prähistorischen Strandlinien und Strandterrassen Grönland's, die allerdings erst im nächsten Kapitel ihre meritorische Besprechung finden können. Hier sei nur soviel erwähnt, dass selbst an nicht sehr weit von einander entfernten Orten die Niveau's dieser Grenzmarken des Meeres nicht genau übereinstimmen; nimmt man nun an, dass die Eisdecke nicht allenthalben mit der gleichen Geschwindigkeit vom Ufer sich zurückzog, so hat man einen Fingerzeig für die Aufklärung des an sich räthselhaften Umstandes [91]. Noch unbegreiflicher erschien Bravais' — deshalb auch von vielen Forschern bestrittene — Bemerkung, dass nicht alle Strandlinien genau parallel seien [92]. Nach Penck haben wir hier an periodische Anomalieen zu denken [93]; wir wissen (Band I, S. 200 ff.), dass nicht einmal die wirklichen Niveauflächen der Erdrinde genaue Parallelflächen im geometrischen Sinne sind, um so weniger also braucht die mit jenen Niveauflächen doch nur sehr angenähert sich deckende Meeresfläche sich selbst zu verschiedenen Zeiten parallel zu sein. Endlich hat man jetzt auch den Schlüssel zum Verständniss der von Pettersen [94] betonten ruckweisen Spiegelschwankungen in der Hand [95]: bewegte sich der Inlandgletscher stetig, so war auch das Meeresniveau in relativer Be-

*) Er berechnet für die sogenannte Eiszeit das durch das Gravitationspotential der vergletscherten Kontinente hervorgebrachte Ansteigen des Meeres auf etwa 100 m. Legt man dagegen die von Zöppritz [84] angegebene Formel zu Grunde, so ergiebt sich, unter Festhaltung der übrigen Annahmen Penck's, eine um 30 m geringere Hohe. Doch gilt diess zunächst nur für die glatt verlaufende Küste; das Wasser jener Meerestheile, welche tiefer in die Eiswelt eindringen, wird auch entsprechend stärker gehoben.

ständigkeit, machte er einen instantanen Vorstoss, so zog er das Meerwasser rasch und kräftig zu sich heran, schwand ein beträchtlicher Theil seiner Eismasse plötzlich, so sank ebenso plötzlich das Niveau unter seinen bisherigen Stand. Bemerkt sei noch, dass Penck, wie wir aus einem grösseren Werke ersehen, sämmtliche Meeresküsten an der Hand seiner Hypothese prüfend durchmustert und zahlreichen Detailerscheinungen Belege für dieselbe abgewinnt. —

Von eigenem abschliessendem Urtheile über jene Theorie, welche Alles am besten und sichersten erklärt, glauben wir Abstand nehmen zu sollen. In der Hauptsache scheint uns Suess' Ansicht, im Vereine mit der durch Penck ihr gewordenen Fortbildung, das Richtige zu treffen, ob aber nicht doch auch das Landmassiv als solches durch eine — nach Pilar oder Toula zu konstruirende — Schollenbewegung in radialer Richtung einen gewissen Beitrag zu den positiven und negativen Schwankungen der Uferlinie seinen Beitrag leistet, das wird erst durch fortgesetzte Forschung in einem bestimmten — und vielleicht nicht in rein negativem — Sinne zu entscheiden sein*).

[1] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878. S. 97 ff. — [2] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1884. S. 375 ff. — [3] Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten; ein Beitrag zur allgemeinen Erdkunde, Leipzig 1879. — [4] Handbuch der Oceanographie und maritimen Meteorologie, 1. Band, Wien 1883. S. 160 ff. — [5] v. Hoff, Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche, 1. Band, Gotha 1822. S. 401 ff. — [6] Celsius, Om vattnets forminsking så i Oestersjön som vesterhavfet, K. Vetensk. Akad. Handl., Vol. V. S. 25 ff. — [7] Linné, Dissertatio de telluris habitatae incremento, Upsalae 1743. — [8] Chydenius, Disputatio de decremento aquarum in sinu bottnico, ibid. 1749. — [9] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 6. Band, 3. Abtheilung, Leipzig 1837. S. 1596 ff. — [10] Jessen, Kongeriget Norske fremstillet efter det naturlige og borgerlige tiestand, Kopenhagen 1763. — [11] v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland, 2. Band, Berlin 1820. S. 291. — [12] C. F. Frisch, Schweden, Berlin 1869. S. 5. — [13] Grisebach, Die Bildung des Torfes in den Emsmooren, Göttingen 1845. S. 88. — [14] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. S. 35 ff. — [15] Forchhammer, Ueber die veränderte Wasserhöhe an den dänischen Küsten, (Berliner) Zeitschr. f. allgem. Erdkunde, 1856. S. 477. — [16] F. Pfaff, Die neuesten Forschungen und Theorieen auf dem Gebiete der Schöpfungsgeschichte, Frankfurt 1868. S. 51 ff. — [17] Dalin, Geschichte des Reiches Schweden, 1. Theil, Stockholm 1747. S. 42 ff. — [18] Krümmel, Recension zu Hahn's Unters. etc., Gött. gel. Anz., 1879. S. 856 ff. — [19] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 404 ff. — [20] Ibid. S. 412. — [21] J. Smith, Ueber die Anzeichen einer Aenderung in der relativen Höhe von Land und See im Westen von Schottland, N. Jahrb. f. Min., Geogn., Geol. u. Paläont., 1837. S. 477 ff. — [22] Forchhammer, Over niveauforändringar, der in den nuvärende jordperiode have funde stet ved de danske kyster, Goetheborg 1829. — [23] Hahn, Unters. etc., S. 158. — [24] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 409. — [25] Ackermann, Beitr. etc., S. 102. — [26] Hahn, Unters. etc., S. 164 ff. — [27] P. Lehmann,

*) Die geschichtliche Gerechtigkeit verpflichtet uns, hier noch festzustellen, was uns erst später bekannt ward, dass nämlich genau gleichzeitig mit Suess, also ohne von Letzterem beeinflusst zu sein, H. J. Klein sich entschieden auf den gleichen Standpunkt gestellt hat. In einer an die neueren Arbeiten über Deltabildung u. s. w. anknüpfenden Arbeit über Vertikalbewegungen sagt er: „.... Daraus würde der Schluss folgen, dass diese Hebungen und Senkungen grösstentheils nur Scheinbewegungen sind, hervorgerufen durch einen veränderlichen Niveaustand des Oceanes."

Das Küstengebiet Hinterpommern's, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 19. Band. S. 394 ff. — [28] Hahn, Unters. etc., S. 124 ff. — [29] Th. Fischer, Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer, Leipzig 1877. — [30] Reyer, Aus Toskana; geologisch-technische und kulturhistorische Studien, Wien 1884. — [31] Th. Fischer, Recension hiezu, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 5. Jahrgang. S. 67 ff. — [32] v. Klöden, Ueber das Sinken der dalmatinischen Küste, Ann. d. Phys. und Chem., 43. Band. S. 361 ff. — [33] Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde, herausgeg. v. Löwenberg, 2. Band, Leipzig 1878. S. 529 ff. — [34] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 401. — [35] Calvert, Ueber die asiatische Küste des Hellespont, Zeitschr. f. Ethnologie, 1880. S. 31 ff. — [36] Virchow, Die Küste von Troas; ibid. 1880. S. 40 ff. — [37] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 400. — [38] v. Kremer, Aegypten, 1. Band, Leipzig 1863. S. 35. — [39] v. Tchihatcheff, Spanien, Algier und Tunis, Leipzig 1882. S. 510 ff. — [40] Th. Fischer, Recension hiezu, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 4. Jahrgang. S. 51. — [41] Th. Fischer, Beitr. etc., S. 22. — [42] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 398. — [43] Niebuhr, Beschreibung von Arabien, Kopenhagen 1772. S. 403 ff. — — [44] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 395. — [45] Rein, Japan nach Reisen und Studien, 1. Band, Leipzig 1881. S. 64 ff. — [46] v. Hochstetter, Neuseeland, Stuttgart 1863. S. 40 ff. — [47] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 382 ff. — [48] Ch. Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika, übers. v. Carus, Stuttgart 1878. — [49] Suess, Das Antlitz der Erde, 1. Abtheilung, Leipzig 1883. S. 137. — [50] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 384. — [51] Reiss, Sinken die Anden?, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 7. Band, S. 45 ff. — [52] Ibid. S. 53. — [53] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 387. — [54] Pingel, Notiz über einige Thatsachen, welche die allgemeine Senkung eines Theiles der Westküste Grönland's beweisen, N. Jahrb. f. Min. etc., 1837. S. 339 ff. — [55] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 156. — [56] Peschel, N. Probl., S. 100. — [57] Ibid. S. 116. — [58] Hahn, Unters. etc., S. 133 ff. — [59] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrbuch, 8. Band, Gotha 1880. S. 42. — [60] Der Vulkanismus und die Geologie, Gaea, 2. Jahrgang. S. 159. — [61] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 188 ff. — [62] Ibid. S. 197. — [63] Möhl, Erdbeben und Vulkane, Berlin 1878. — [64] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 112. ff. — [65] Rickets, On subsidence as the effect of accumulation, Geol. Mag., 1872. S. 119 ff. — [66] F. Pfaff, Allgemeine Geologie, Leipzig 1873. S. 195. — [67] Krümmel, Rec. etc., S. 864. — [68] Peschel, N. Probl., S. 94. — [69] Chambers, Ancient sea-margins, as memorials of changes in the relative level of sea and land, Edinburgh 1848. — [70] Tyler, On the formation of deltas, and on the evidence and causes of great changes in the sea-level during the glacial epoch, Geol. Mag., 1872. S. 392 ff. — [71] Trautschold, Ueber säkuläre Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche, Bull. de la soc. imp. des natur. de Moscou, 1869. S. 68 ff. — [72] Trautschold, zur Frage über die periodische Bewegung des Erdoceanes, ibid. 1873, II. S. 341 ff. — [73] Lemberg, Ueber Silikatumwandlungen, Zeitschr. d. d. geol. Gesellschaft, 28. Band. S. 519 ff. — [74] Reyer, Beitrag zur Physik der Eruptionen und Eruptivgesteine, Wien 1877. — [75] Veränderlichkeit der Wassermengen von Flüssen und Seen, Gaea, 18. Jahrgang. S. 393 ff. — [76] Ibid. S. 396. — [77] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrbuch, 9. Band. Gotha 1883. S. 38. — [78] Fritz, Die Veränderlichkeit der Wassermengen der Gewässer des Festlandes, Petermann's geogr. Mittheilungen, 1880. S. 245 ff. — [79] Sinken des Meeres, Zeitschr. f. Schulgeographie, 4. Jahrgang. S. 43. — [80] Jentzsch, Ueber die Statik der Kontinente und die angebliche Abnahme des Meerwassers, Tagebl. d. 53 deutschen Naturforscherversammlung, Danzig 1880. S. 167 ff. — [81] v. Drasche, Bemerkungen zu den neueren und neuesten Theorieen der Niveauschwankungen, Leopoldina 1880. S. 29 ff. S. 38 ff. — [82] Suess, Ueber die vermeintlichen säkulären Schwankungen einzelner Theile der Erdoberfläche, Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1880. S. 171 ff. — [83] Dana, Manual of geology, New York 1880. S. 794 ff. — [84] F. Pfaff, Allg. Geol., S. 212 ff. — [85] Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse, 20. Band. S. 681 ff. — [86] Schmick, Das Fluthphänomen und sein Zusammenhang mit den säkulären Schwankungen des Seespiegels, Leipzig 1874. S. 170 ff. — [87] Zöppritz, Ueber die Schwankungen des Meeresspiegels in Folge von geologischen Veränderungen, Ann. d. Phys. u. Chem., (2) 11. Band. S. 1016 ff. — [88] Fisher, Physics of the earth's crust, London 1881. S. 217 ff. — [89] Rozet, Extrait d'un mémoire sur quelques unes des irrégularités que présente la structure du globe terrestre, Bull.

de la soc. géol. de France, Vol. XII. S. 176 ff. — [90] Penck, Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882. — [91] Ibid. S. 37 ff. — [92] Bravais, Rapport sur un mémoire relatif aux lignes d'ancien niveau de la mer dans la Finmark, Compt. rend. de l'acad. franç., Vol. XV. S. 817. — [93] Penck, Schwankungen etc., S. 37 ff. — [94] Pettersen, The slow secular rise and fall of continental masses, Geol. Mag., 1879. S. 296 ff. — [95] Penck, Schwankungen etc., S. 53 ff. — [96] Klein, Die langsamen Veränderungen der Erdfeste, Gaea, 16. Jahrgang. S. 385.

Kapitel II.

Die Küstenbildung.

§. 1. Die mechanische Arbeit der Brandungswoge. Das vierte Kapitel der vorigen Abtheilung machte uns, zunächst blos vom hydrographischen Standpunkte aus, mit der Brandungswoge bekannt, welche, indem sie in beträchtlicher Höhe und mit ebenfalls beträchtlicher Geschwindigkeit an das Ufer schlägt, anbrandet*), eine erhebliche mechanische Arbeit leisten muss. Wäre die Küste ein absolut starrer Körper, so würde diese Arbeit nichts als eine Erhitzung der von der Woge zunächst getroffenen Wände erreichen, allein jene Voraussetzung trifft gar nicht, oder höchstens in seltenen Fällen, zu, und so muss sich denn die Arbeitsleistung in einer Umänderung der Küstengestalt offenbaren, die Küste wird, mit Peschel zu sprechen [1], durch das Wasser modellirt. Der Akt dieser Modellirung ist jedoch ein doppelter; wir haben die langsam und unmerklich wirkende Thätigkeit der Erosion, wie Hahn [2] zutreffend bemerkt, zu unterscheiden von der energischen Aktion der Abrasion. Allerdings schlägt die Brücke zwischen beiden Processen wiederum der Umstand, dass die Erosion für die Abrasion den Boden erst vorbereiten muss.

Indem das Wasser mit Gewalt*) in die Ritzen und Poren des Ufergesteines hineingetrieben wird, durchfeuchtet es dasselbe, und macht es so einerseits widerstandsunfähig gegen stärkere Angriffe der Wellen, während es andererseits auch zur chemischen Auflösung und Zersetzung der Felsen den Anstoss giebt. Im Winter wirkt auch die Expansionskraft der im Inneren der Küstenwand zurückgebliebenen Eismassen zerstörend. Wir gehen an dieser Stelle auf die Erosion weniger tief ein, weil uns das fünfte Kapitel der achten Abtheilung auf dieselbe ohnehin zurückführt.

Die Woge wirkt jedoch nicht allein durch die ihr selbst innewohnende mechanische Potenz, sondern sie schleudert auch Festkörper gegen die Abhänge des Gestades und äussert auf diese Weise zumal

---

*) Nach den am Selbstregistrator vorgenommenen Messungen Stevensons üben an der Basis des bekannten Thurmes von Eddystone, den die empörte Brandung schon zweimal weggefegt hat, die Wogen in den Wintermonaten durchschnittlich einen Druck von 10 184 kg auf den qm aus; im Sommer ist der Druck $3\frac{1}{2}$mal geringer [3]. Ein recht schlagendes Beispiel für die Energie des in die Spalten einer bereits angefressenen Küste hineindringenden Wassers werden uns später, bei der Lehre von den Quellen, die bekannten „Meermühlen von Argostoli“ darbieten.

Steilküsten gegenüber einen gewaltigen Einfluss. Geikie, dem wir die wichtigsten Nachweisungen über diese Art oceanischer Aktion zu danken haben [4], durfte mit Recht von einer „Artillerie des Meeres" sprechen. Die Riesenblöcke („travellers"), mit welchen der Leuchtthurm bei Bell Rock in Schottland von dem fast immer aufgeregten Meere bombardirt zu werden pflegt, beschrieb schon Hibbert [5]. Hartes Gestein wird zwar nicht zertrümmert, aber doch so geschrammt, als ob ein Gletscher darüber hingegangen wäre, weiches erleidet Verluste aller Art; Sandstein wird aus seiner Umhüllung von Ur- oder plutonischem Fels herausgerissen, und es bilden sich jene thorartigen Höhlen, welche die Insel Mull und die Fär-Öer auszeichnen. Wenn umgekehrt weiches Gestein in hartes eingebettet ist, so bleiben von letzterem bizarre Thürme und Pfeiler übrig, während ihre Umgebung weggewaschen wird. Die Klippen und die schwedischen Scheeren (s. §. 1 des vorigen Kapitels), sowie die aus reihenweise angeordneten Klippen bestehenden Riffe*) sind auf diese Art entstanden zu denken. Es brauchen gerade nicht Gesteinstrümmer zu sein, deren sich das Meer zu seinen Angriffen auf das Festland bedient, vielmehr erfahren wir durch Hind [7], dass Eisschollen, sogenannte „pans", wenn sie vom arktischen Strome an die Küste von Labrador getrieben werden, den stärksten Fels abreiben oder doch zum mindesten glatt poliren. Wir haben hier also eine Erosion des Eises, wovon wir einstweilen Notiz zu nehmen unsere Gründe haben — allein freilich kann von dieser Erosion nur dann die Rede sein, wenn das bewegte Eis ein hohes Maass von lebendiger Kraft mitbringt**).

Bislang ward stets vorausgesetzt, das Durchschnittsniveau des Meeres ändere sich nicht, während es mit dem Lande in Konflikt liegt. Es ist nunmehr Zeit, diese im Allgemeinen nicht stichhaltige Annahme fallen zu lassen.

§. 2. **Wirkung der Wogen auf eine mit Vertikalverschiebung behaftete Küste.** Es war v. Richthofen, dem sich bei seinen so fruchtbringenden Wanderungen durch China die Wahrnehmung aufdrängte [9], dass die Schichten einer übergreifenden Gebirgsformation nicht einem gebirgigen Boden aufgelagert waren, wie man es doch bei einer durch das Meer bedingten Sedimentbildung hätte erwarten müssen, sondern dass sie gleichförmig auf einer für den Niederschlag gewissermassen prädisponirten Fläche aufruhten. Welche erosive Kraft mochte diese in's Grosse gehende Erscheinung bedingt haben? „Unter allen mechanisch zerstörenden Agentien," so sagt der berühmte Geograph, „giebt es ein einziges, welches die regionale Abrasion im weitgreifendsten Maasse hervorzubringen vermag. Es ist die Wirkung der gegen das Innere eines Kontinentes vordringenden Brandungswelle."

---

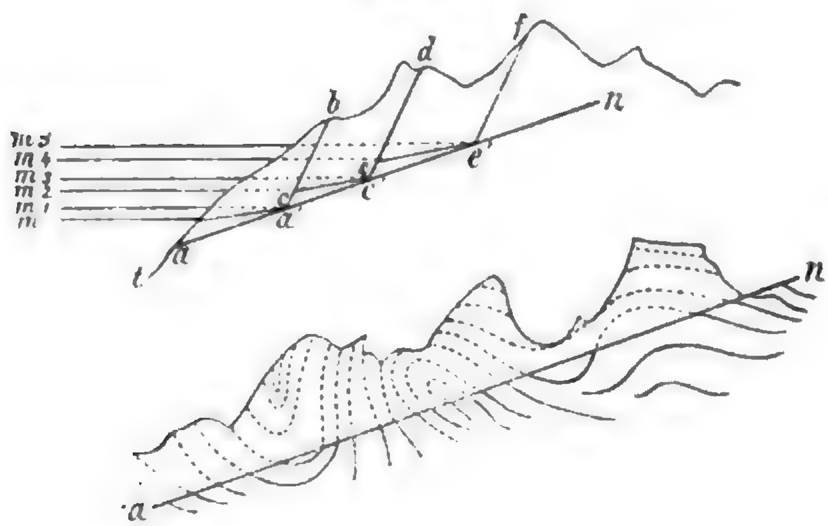
*) Wir haben uns hier der Terminologie v. Sonklar's [6] angeschlossen.

**) Von der Grösse dieser Kraft geben vielleicht auch die eigenthümlichen canadischen Eisvulkane Zeugniss, welche man insbesondere an den Gestaden des Ontario-See's beobachtet haben will [8]. Auf den Eissedimenten am Ufer sollen sich Hügel von 6 bis 10 m Höhe gebildet haben, welche eine kraterförmige Oeffnung aufwiesen; durch diese, die mit dem darunter befindlichen Wasser kommunicirt habe, seien bei stürmischem Wetter von jeder Woge Schaum, Eisschlamm und sogar massive Eisbrocken so lange emporgeschleudert worden, bis der Kanal wieder zugefroren sei.

Es wird demgemäss dreierlei für sich betrachtet [10]: Wirkung der Brandung bei konstantem Meeresniveau, Wirkung der Brandung bei positiver Niveauverschiebung, Wirkung der Brandung bei negativer Niveauverschiebung. Im ersteren Falle wirkt die Brandung angreifend entlang einer schmalen Horizontalzone, begrenzt durch die Spiegelflächen des Hoch- und Niedrigwassers. Wenn das Meer sich zurückzieht, resp. wenn — der anderen Auffassung zufolge — die Küste ansteigt, so findet ein allmähliges, gleichmässiges Abhobeln der Abhänge statt, die oberste Parallelschicht der Böschung wird abgelöst, eigentliche Denudationsflächen vermögen sich nicht zu bilden. Ganz anders, wenn das Land dem flüssigen Elemente successive weicht und an dieses Terrain verliert; dann treten Vorgänge ein, die als Ganzes eben erst durch v. Richthofen's Untersuchungen uns zum Verständnisse gebracht wurden*).

Sei tbdf (Fig. 85) der Abfall eines Küstengebirges gegen die Meerestiefe. Während des zuerst betrachteten Zeitabschnittes variirt die Brandung zwischen den Tidenniveau's m und m_1 und furcht in

Fig. 85.



den Berg eine Terrasse aa' ein; dann kann das prismatische Stück aa'b sich nicht mehr halten, es wird durch Unterspielung und Nachstürzen ein Raub der Wellen. Nun beginne die negative Uferverschiebung. Nach Ablauf des ersten Zeitabschnittes ist das Land um a'c gesunken, zwischen den Niveau's m_2 und m_3 entsteht eine neue Terrasse cc', und diese erscheint dann als Basis des herabstürzenden und in den Fluthen verschwindenden Gebirgstheiles cbdc'. Eine dritte Periode sieht das Entstehen der Terrasse ee' zwischen den nunmehrigen Niveau's m_4 und m_5 und das Zusammensinken des Stückes edfe'. In dieser Weise schreitet die Zerstörung fort. Es ist gestattet, von einer allmähligen Abschleifung des Festlandes zu sprechen; an ist

*) Der Autor selbst thut jedoch des englischen Vorgängers Ramsay [11] selbst ehrende Erwähnung; derselbe habe den Charakter der Abrasionsplateau's klar erfasst gehabt, dieselben aber als „planes of marine denudation" bezeichnet.

die — oben erwähnte — schliessliche Schlifffläche. Ein ganzes Faltengebirge kann so über einer den letzten Meeresgrund darstellenden Schlifffläche an abgetragen werden*). Es leuchtet ein, dass diese regionale Abrasion nur durch die vorwärts schreitende, immer tiefer in's Gebirge sich einbohrende Brandungswelle bewerkstelligt werden kann. Wenn nicht das weggeschliffene Schuttmaterial durch irgendwelche andere Kraft entführt wird, muss sich eine „transgrediente Lagerung“ herausbilden [12]. — Geologisch wird das Auftreten dieser progressiven Brandungswoge konstatirt durch das Vorhandensein sogenannter Abrasionsplateaux, welche sich sehr scharf von den Schichtungsplateaux abheben. Ein Plateau ersterer Art überragt das Thal der Yangtzse [13]; ebensolche giebt es in den belgischen Steinkohlenrevieren bei Namur und Dinant, wo Cornet-Briart [14] zufolge die Woge einer fernen geologischen Vorzeit Gebirgsmassive von 5000 bis 6000 m Höhe hinweggefegt zu haben scheint.

§. 3. **Strandwälle und Strandlinien.** v. Richthofen charakterisirt die als Einleitung zur Abrasion dienende Erosion des ersten obigen Zeitraumes (a. a. O.) so: Die Brandung höhlt längs der schmalen Zone, welche zu bearbeiten sie ausschliesslich angewiesen ist, einen konkaven Raum — einen Halbcylinder mit horizontaler Axe — aus; die Terrassen, welche auf diesem Wege in das Küstengebirge eingeschnitten werden, sind selbst nicht ganz horizontal, sondern senken sich etwas nach einwärts. H. Reusch, der sich dem Studium der norwegischen Erosionsformen mit besonderer Vorliebe gewidmet hat [15], gedenkt dieser Terrassen besonders neben den Höhlen und Klippenruinen (s. o. §. 1), neben den Riesentöpfen, die wir bei der glacialen Geologie mit behandeln werden, und neben den Strandwällen**). Es wird somit angezeigt sein, der Entstehung dieser merkwürdigen terrassenförmigen Seespiegelmarken einen besonderen Paragraphen einzuräumen.

Für Terrassenbildung u. dgl. begann man sich erst seit jenem Zeitpunkte zu interessiren, als der französische Physiker Bravais (s. Kap. I, §. 5) den Bericht über seine an den Berghängen Finnmarkens vorgenommenen Messungen alter Niveaustände des Meeres veröffentlichte; auch Martins, des Genannten Reisegefährte, giebt Nachrichten von diesen Messungen und bewundert den Scharfsinn des Genossen, der bei'm Mangel schärferer Spuren sich an die dem Fels entlang sich hinziehenden Konglomerate von solchen Meerespflanzen gehalten habe, welche ausserhalb der Salzfluth ihr Leben nicht fristen können [17].

---

*) In der Figur ist nebenstehend, nach v. Richthofen, das Bild eines theilweise abgetragenen Gebirgszuges darzustellen versucht worden; hat derjenige, welcher vorbereitungslos die Struktur eines solchen Residuums feststellen will, die weggenommenen Falten nicht vor Augen, so fällt ihm die Orientirung überaus schwer.

**) Diese letzteren sollen am schönsten ausgeprägt bei Goskö vorkommen [16]; die irischen Schotterwälle werden nach Kinahan von der Brandung angehäuft, von der Gezeitenströmung aber da- und dorthin geführt. Besonders schöne Uferwälle erbaut die Caléma genannte uns durch Pechuël-Lösche's „Loango-Expedition“ bekannter gewordene eigenartige Brandung Unter-Guinea's.

Später beschäftigten sich mit den fraglichen Objekten Mohn [18] und Pettersen, dessen bedeutendste Arbeit uns R. Lehmann durch eine gelungene Uebersetzung zugänglich gemacht [19]. Pettersen unterscheidet bestimmter, als diess andere Schriftsteller thun, zwischen Terrassen und Strandlinien; erstere finden sich nur in losem Gerölle, letztere sind tief in den anstehenden Fels eingeschnitten. Ein Terrassensystem wird durch mehrere aufeinanderfolgende Stufen gebildet, und zwar hat jede Stufe eine annähernd horizontale Stufenfläche („trinflade") und eine vertikal ansteigende Stosslehne („stödtrin"). Nach umsichtigster Individualbeschreibung aller der Oertlichkeiten, welche ihm auf etwa vorhandene Strandlinien zu prüfen vergönnt war, fasst Pettersen sein Urtheil in zwölf Thesen zusammen, deren Gesammttenor etwa der ist: Strandlinien und Terrassen sind Zeugnisse der Meereserosion, zugleich aber energischer Klimaverschiebungen in früheren Zeiten*). Der Ansicht v. Richthofen's zufolge haben auch schwimmende Eisschollen bei der Ausgrabung der ganz gut als Scheuermarken bezeichneten alten Uferlinien mitgeholfen (s. o. §. 2). Von deutschen Forschern ist R. Lehmann als ein eifriger Förderer der Strandlinienfrage aufgetreten, und zwar beschränkt sich sein Verdienst nicht etwa blos auf die Zugänglichmachung anderer Arbeiten, sondern er hat auch selbst an der norwegischen Westküste vielfache Erfahrungen gesammelt und dieselben in einer inhaltsreichen Schrift [21] zur Grundlage einer systematischen Behandlung des Gegenstandes gemacht. Auch er erklärt diese Gebilde, „welche da, wo sie gut erhalten sind, dem Beschauer

*) Die Thesen sind [20]: I. Strandlinien und Terrassen sind nicht eigentlich an bestimmte Niveau's gebunden; II. beide treten häufig nur lokal und fragmentarisch auf, während sie sich anderen Ortes meilenweit hinziehen; III. diese letzteren sind die typisch ausgeprägteren, halten sich strenger an ein gewisses Niveau und sind namentlich im Norden Norwegens — Pettersen wohnt in Tromsöe — zu finden; IV. jede einzelne der in anstehenden Fels eingeschnittenen Linien bewahrt überall einen nahezu horizontalen Lauf, mag sie nun der Uferlinie parallel oder mehr nach innen zu sich erstrecken; V. die verschiedenen Stufen dagegen stellen eine vom Gestade nach dem Binnenlande zu ansteigende Riesentreppe dar, und je tiefer eine Bucht in das Land eintritt, umso höhere Niveau's erreichen die Strandlinien; VI. die Bedingungen für die Bildung der Strandlinien scheinen hiernach in der Richtung von innen nach aussen zur Küste hin immer später eingetreten zu sein, was sich, beiläufig bemerkt, mit den von Penck und Zöppritz (s. o. Kap. I. §. 5) angegebenen Annahmen über die hebende Kraft des Inlandeises sehr wohl vereinbaren lässt; VII. Strandlinien und Terrassenstufen sind in der Strandzone entstanden; VIII. ausser der scheuernden und brechenden Thätigkeit des Meeres scheinen auch andere scheuernde Kräfte — v. Richthofen's Eisschollen — bei der Strandlinienbildung wirksam gewesen zu sein; IX. die Bildung der stärker ausgeprägten und mehr an bestimmte Niveau's geknüpften Strandlinien ist wahrscheinlich zum Theile durch verschiedene periodische — die Verwitterung begünstigende — klimatologische Wechsel bedingt gewesen; X. die Strandlinienbildung hat am obersten Rande der Stosslehne begonnen, und die Ausgrabung ist dergestalt von oben nach unten vor sich gegangen, während sich gleichzeitig der Küstensaum im Zustande einer positiven Niveauverschiebung befand; XI. diese Bewegung muss bis zu einer Höhe von mindestens 63 m über dem heutigen Meeresspiegel langsam und gleichmässig, sie kann nicht stoss- und ruckweise vor sich gegangen sein; XII. die während der postglacialen Zeit in den Küstenstrichen des nördlichen Norwegen's in dem gegenseitigen Verhältnisse von Meer- und Land vorgegangenen Niveauveränderungen lassen sich am leichtesten durch die Annahme eines veränderlichen Meeresstandes erklären.

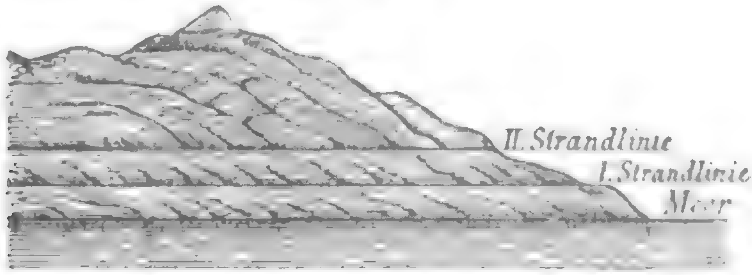
völlig den Eindruck einer Kunststrasse machen können" *), für ein Erzeugniss der von der Brandungswoge mitgeführten, scheuernden Geröllsteine im Vereine mit der Sprengwirkung des in den Fugen zurückgebliebenen Eises. Für gewöhnlich sind die Strandlinien einander parallel, jedoch selbst dann, wenn sie einen natürlich sehr stumpfen Winkel mit einander einschliessen würden — und es scheint diess auch von Lehmann als möglich zugegeben zu werden —, braucht nach Penck (s. §. 5 des vorigen Kapitels) die allseitig angenommene Erklärung dieser Brandungsgrenzen nicht aufgegeben zu werden [23].

Bisher hatten wir ausschliesslich es mit den skandinavischen Strandlinien zu thun, doch fehlt die gleiche Erscheinung auch in anderen Erdräumen keineswegs. R. Lehmann veröffentlicht [24] einen Brief des bekannten Staatsgeologen der Republik Ecuador, Th. Wolf's, aus dem erhellt, dass an dem steilen Ufer der Provinzen Manabi und Esmeraldas jenes Staates allerdings in Bildung begriffene Uferplattformen vorkommen, die an die Strandlinien erinnern und zur Zeit der tiefsten Ebbe von den Uferbewohnern zur Herstellung einer sonst fast unmöglichen Verbindung benützt zu werden pflegen; sollte die dortige Küste sich heben, so wäre in einigen Jahrhunderten die Analogie wahrscheinlich eine vollständige Identität [25]. Auch die schottische Küste lässt sich zur Vergleichung heranziehen. Die Parallelstreifen von Glen Roy sind nicht, wie man ehedem glaubte, in losen Stoff oder Gerölle, sondern, nach einer später von Daykins vorgenommenen Untersuchung [26], ebenfalls in festen Fels eingeschnitten. Seit Pennant (1771) dauert, wie W. Jolly berichtet [27], der Streit um die schottischen Strandlinien; diluviale, marine und lakustre Theorieen lösten einander ab. Jolly selbst verlegt, im Einklange mit Horne und Banff, die Entstehung derselben in die zweite Glacialperiode, doch wird, wenn auch das Eis (s. o.) als erosiver Faktor nicht zu unterschätzen ist, die Entstehung der schottischen und der skandinavischen Uferstreifen im Wesentlichen auf die nämlichen Ursachen zurückzuführen sein.

§. 4. Die Fjorde und die Gesetze ihrer Entstehung. Das dänische Wort bedeutet ursprünglich dasselbe, wie das deutsche Föhrde und

*) Unsere Fig. 86 giebt ein Bild von einer doppelten Strandlinie, auf welche sich der Vergleich Lehmann's besonders gut anwenden lassen dürfte.

Fig. 86.



Dieselbe befindet sich am Sarabyfjeld auf der Ostseite des Vargsundes im Norden der Halbinsel; die erste Stufe erhebt sich 21 m, die zweite 48 m über den Seespiegel [22].

das englische Firth, eine enge Meeresbucht oder Meeresstrasse. Da jedoch die Einschnitte, welche das Meer in die skandinavische Küste gemacht hat, der Mehrzahl nach einen ganz bestimmten, unverkennbaren Charakter der Gemeinsamkeit an sich tragen, so ist es allmählig üblich geworden, dieses Wort in engerem Sinne zu gebrauchen. Peschel, der in den Fjorden ein besonders günstiges Beispiel zur Darlegung seiner Ideen über vergleichende Morphographie und Morphologie der Erdoberfläche erkannte, widmete ihnen einen mit besonderer Vorliebe bearbeiteten Abschnitt seines Hauptwerkes [28], der mit vielen Erweiterungen auch in die Leipoldt'sche Ausgabe der Vorlesungen übergieng [29]*). Dort wird definirt: Fjorde sind tiefe und steile Schluchten an Festlands- und Inselküsten, die senkrecht oder doch unter wenig von 90° abweichenden Winkeln in das Land eindringen**). Es wäre irrig, anzunehmen, dass die Fjorde etwa den Küsten des Meeres eigenthümlich wären; sie fehlen auch den Binnenseen nicht, ja an diesen letzteren erweisen sie sich, wie wir von Ratzel hören [31], nicht selten als besonders vielgestaltig und belehrend. Gewöhnliche Landkarten täuschen aus leicht begreiflichen Gründen über dieses Verhältniss, umso klarer ergiebt sich dasselbe aber aus den von der „Survey of the northern and northwestern lakes" besorgten Spezialdarstellungen der grossen amerikanischen Binnengewässer, und selbst ganz kleine Seen im Staate New-York tragen das Gepräge einer Fjordregion. Für eine solche ist nach Ratzel [32] namentlich ein früher wohl kaum der Beachtung werth gehaltener Umstand typisch: das Vorkommen kleinerer Seen auf den Inseln der Seen selbst. Die Fjordbuchten oder Fjordschluchten sind, als am einen Ende geschlossen, von den beiderseits offenen Fjordstrassen zu unterscheiden. Man findet in der Ratzel'schen Abhandlung auch einige generelle Regeln zur Beurtheilung des physiographischen Verhaltens einer Erdgegend, welche auf ihre Zugehörigkeit zu den Fjordregionen zu prüfen wäre [33]***).

Durchgreifende Gesetze für die geographische Verbreitung der Fjorde suchte Peschel ausfindig zu machen. Indem er die Karte sorgfältig zu Rathe zog, erkannte er zuerst [34], dass Fjorde nur unter hohen Breiten vorkommen; die Jahresisotherme von 10° sollte von ihnen nicht überschritten werden. Des Ferneren sollte als ein Hinderniss für deren Vordringen gegen den Aequator hin die Polargrenze der subtropischen Winterregen gelten; selbst im

*) Nicht Peschel war es übrigens, der die erste Theorie der Fjorde schrieb, vielmehr gieng ihm darin, wie Reclus hervorhob [30], der Amerikaner Dana voran.

**) Der Lümfjord, welcher den Norden Jütland's vom europäischen Kontinente trennt, würde zu dieser Definition freilich nur schlecht passen, doch soll einzelner Ungehörigkeiten halber an der nun einmal allseitig anerkannten Festsetzung nicht gerüttelt werden.

***) „I. In der Richtung der Elemente einer Fjordküste, also vorzüglich der Halbinseln, Landzungen, Inseln, Klippen, Buchten und Strassen ist ein durchgreifender Parallelismus nicht zu verkennen; II. die Gesammtheit der Oberflächenformen, welche die Fjordbildungen zusammensetzen, ist auf's Innigste verbunden; III. die Fjorde selbst sind durchaus ausgezeichnet durch geringe Breite; IV. durch diese geringe Breite tritt die Uebereinstimmung der Halbinseln und Inseln der Fjordregion in Oberflächengestalt und Umriss besonders klar hervor."

eigentlichen Polarterritorium wäre die Entwickelung der Fjorde da eine minimale, wo aus irgend einem Grunde die Niederschläge nur dürftig erfolgten, wie z. B. im Archipelagus der nordwestlichen Durchfahrt [35]. Man muss anerkennen, dass Peschel's komparativ-klimatologische Studien, denen selbst sein strenger Kritiker P. Lehmann die Verdienstlichkeit nicht absprechen möchte [36], ihn in der Hauptsache den richtigen Weg haben gehen lassen. Dagegen irrte Peschel, indem er das Auftreten von Fjorden mit demjenigen von alten Gletscherspuren in unmittelbare Verbindung bringen wollte; für Amerika allerdings stimmt, wie Hahn bemerkt [37], die Verbreitungsgrenze beider Erscheinungen leidlich überein, doch fehlt es auch hier nicht an Ausnahmen; dagegen giebt es in der alten Welt Fjorde an vielen Orten, wo man sie nach Peschel nicht suchen sollte. Die Bretagne besitzt dergleichen in ziemlicher Abwechselung, dieselben nehmen in Rütimeyer's Monographie dieser Provinz [38] sogar einen Ehrenplatz ein; aber auch Nordwestspanien, Corsica und Sardinien lassen Fjordregionen erkennen; dass es am persischen Golfe solche gäbe, war bereits von C. Ritter wahrgenommen worden; Madagaskar zeigt Ansätze zur Fjordbildung, und ein Gleiches gilt für China, Korea und Ostsibirien wie auch für Tasmanien [39]; die Freude, welche Peschel empfand, als er erkannte, dass die nach seiner Theorie des Fjordcharakters unmöglich entbehrenden neuseeländischen Inseln einen solchen nach v. Hochstetter auch wirklich besässen, dass also die Probe auf das Exempel stimme, spricht sich klar in seinen Worten aus (a. a. O.). Was endlich Japan betrifft, so bezeugt dessen bester Kenner, Rein, dass eine Fahrt durch das japanische Binnenmeer völlig an eine schwedische Skjärenfahrt*) gemahne [40]. — Auf die Schwellen, welche angeblich vor die meisten Fjorde sich lagern und bewirken sollten, dass der Hintergrund eines Fjordbusens durch eine seichte Barre vom Meere abgeschlossen sei, gehen wir hier nicht näher ein, da uns die Tiefenverhältnisse dieser Meerestheile überhaupt noch nicht hinlänglich klar gestellt scheinen; es genügt uns, mit Ratzel [41] zu konstatiren, dass die Fjordregionen gewöhnlich sehr tiefes Meer haben. Auf eine wichtige Unterscheidung haben wir jedoch noch hinzuweisen, die in Deutschland erst von den Glacialgeologen, zumal von Penck [42], in's richtige Licht gestellt ward. Alle Fjorde, deren wir bisher gedachten, kennzeichnet die Landessprache, wenn sie im Bereiche des ewigen Inlandeises auftreten, als Strömfjorde, es giebt aber ausser diesen noch die Eisfjorde, mit welchen uns bereits Kap. VI. §. 5 der vorigen Abtheilung bekannt gemacht hat. Dieselben kommen, nach den maassgebenden Schilderungen von Rink [43], ausschliesslich in den vergletscherten Gegenden des hohen Nordens vor, der Gletscher schreitet in ihnen bis direkt an das Meer vor, um daselbst zu kalben und sich in Eisberge aufzulösen. Bei'm Strömfjord wird der Uebergang vom Gletscherende zum Meeresspiegel durch Moränenspuren bezeichnet, bei'm Eisfjord fehlen solche.

Ueber die physikalischen Bedingungen der Entstehung eines Fjordbusens oder Fjordsundes ist viel gegrübelt und geschrieben worden, ohne dass man bisher zu einer völlig befriedigenden Deduktion hätte

*) Scheeren und Fjorde bedingen sich eben gegenseitig.

durchdringen können. Die nachfolgende Uebersicht erstreckt sich über die wichtigeren Lehrsysteme.

a) **Die Senkungstheorie.** Wie wir von Ratzel vernehmen [44], erblickt Dana in den Fjorden gesunkene Gebirgsthäler; namentlich sollen die Küstenrisse des Washington- und Oregon-Territoriums durchweg Zeugnisse jüngerer Senkungen sein. Vorhandene Thäler können durch Landsenkung oder, was wahrscheinlicher ist, durch Vordringen des Meeres überschwemmt worden sein, worauf z. B. Suess hinweist [45]; zumal bei der dalmatinischen Küste würde diese Art der Erklärung sich eignen, freilich nur dann, wenn man ersterer überhaupt den Fjordcharakter zuerkennen will.

b) **Die Spaltungstheorie.** Vorsichtig zurückhaltend, hat Peschel selbst mehr nur angedeutet, dass er dieser Ansicht zuneige; Leipoldt hat diese Andeutungen für eine abgeschlossene Theorie zu verwerthen sich bemüht [46]. Es wird mit Nachdruck betont, dass Fjorde mit besonderer Schönheit an aufsteigenden, zumal an den skandinavischen Küsten sich entfalten*), und daran wird der Satz geknüpft: Die Zertrümmerung und Zersplitterung der Küste war mit dem Aufsteigen derselben verknüpft. Ursprünglich war die Zerspaltung nichts weiter als ein Aufsteigen der Schichten, die in Folge der Hebung sich wölbten; sie mochte sich aber später erweitern durch ein Zusammenschrumpfen in Folge einer Massenverminderung, die nicht ausbleiben kann, wenn die Felsarten krystallinisch werden [49].

c) **Die Glacialtheorie.** Wir können uns mit dieser erst später so eingehend befassen, wie es ihre Stellung im geologischen Lehrgebäude unzweifelhaft verdient. Ihr Grundgedanke ist: Fortrückende Gletscher vermögen erodirend auf ihre feste Unterlage zu wirken. Dass die Arbeit, welche rasch bewegtes Eis trotz seines geringen spezifischen Gewichtes dann zu leisten vermag, wenn es mit genügender Geschwindigkeit fortgetrieben wird, keine geringfügige ist**), ward uns schon oben (in §. 1) deutlich, allein sehr fraglich ist es noch, ob auch der langsam fortschreitende Gletscher wirklich in erheblichem Maasse als erodirender Faktor gelten dürfe. Jedenfalls theilt sich auch die Schule der Glacialgeologen in zwei Abthei-

---

*) Diese grossartige Entwickelung der Fjorde an der schwedischen und noch mehr an der norwegischen Küste ist unbestreitbar. Von Oppel erfahren wir [47], dass der Küstensaum Norwegen's von der schwedischen Grenze bis zur russischen eine Länge von 7500 km besitzt, während die Uferlänge, der Fahrt eines Küstendampfbootes nach gemessen, nur 2700 km ausmacht. Die Einschnitte konsumiren sonach fast zwei Drittel der Gesammtausdehnung. Als der landschaftlich schönste gilt obiger Quelle zufolge der Hardanger-Fjord, während der Sogne-Fjord besonders tief in's Land eindringt. Noch weit zerrissener und in seiner Küstenentwickelung grotesker erscheint übrigens das Gebiet der Magelhaensstrasse auf der trefflichen Spezialkarte von Rogers [48].

**) Man erinnere sich stets an die mechanische Fundamentalwahrheit, dass, wenn ein mit der Geschwindigkeit v sich fortbewegender Körper von der Masse m eine Arbeit in dem Sinne verrichtet, dass er einen Körper vom Gewichte P in der Zeiteinheit durch den Weg s bewegt, die Identität besteht:

$$\text{Mechanische Arbeit} = \text{lebendige Potenz};\ Ps = \frac{1}{2}\, mv^2.$$

Bei treibenden Eisschollen ist m klein, allein die im Quadrate auftretende, an sich grosse Geschwindigkeit bewirkt doch, dass Ps relativ gross ausfällt; bei Gletschern dagegen ist zwar m gross, v aber fast verschwindend.

lungen. Die gemässigtere Richtung vertritt der Schotte Ramsay [50], der — im Anschlusse an eine ältere Aeusserung De Mortillet's [51] — namentlich auch die oberitalienischen Seen als Fjorde des dereinstigen lombardischen Randmeeres anerkannt sehen möchte. Die See- und Fjordbecken wurden durch den Druck der über ihre frühere Oberfläche hingleitenden Eismassen wo nicht allein ausgefurcht, so doch wesentlich vertieft. Während also Ramsay die Möglichkeit einräumt, dass eine Disposition zu Fjordthälern vorhanden war, besorgt in der Auspflügungslehre von Tyndall der Gletscher Alles, er vermag die grössten Felsen zu entwurzeln. Seine Vertheidigung einer so ausgiebigen Gletschererosion [52] dürfte dieselbe gleichwohl nur in den Augen der Wenigsten retten. Eine gute Darstellung der gegen eine so ungestüme Aktion des Gletschereises geltend zu machenden Gründe giebt A. Müller [53], während Penck die Ansichten der Glacialfanatiker mit grösster Sachkenntniss erörtert [54]. Er selbst, obwohl unter den Vertretern der modernen Geologie mit obenanstehend, verfällt nicht in diesen bedingungslosen Fanatismus, sondern charakterisirt seinen Standpunkt mehr als einen vermittelnden*). Uebrigens sind auch die Gegner bereit, eine konservirende Thätigkeit bei der Fjordbildung insoferne den Gletschern zuzubilligen, als dieselben sich in die auf irgend eine Weise entstandenen tiefen Mulden ergossen und sie damit vor der Ausfüllung durch nachrückende Schuttmassen bewahrt hätten.

d) **Die Erosionstheorie.** Penck's Hinweis auf die nicht zu unterschätzende ausnagende Aktion des bewegten Wassers vermittelt den Uebergang zu der unserem subjektiven Gefühle nach meistberechtigten Theorie der Fjordentstehung. Dass die Fjorde wenigstens unter Umständen das Resultat eines der in §. 1 beschriebenen Erosionsakte sind, erkannte v. Lasaulx an der irischen Küste bei Galway, wo sechs benachbarte Fjorde ebensovielen in den Kohlenkalk gemachten Höhlungen, die dazwischenliegenden Landzungen ebensovielen Zonen alten Rothsandsteines entsprechen [56]. Dass die bretagnischen Fjorde keiner Gletscherwirkung, sondern allein der „sägenden Tendenz" der Brandungswoge ihr Dasein zu danken haben, stellte Rütimeyer (a. a. O.) fest. Er verfolgte den Process bis zu seinen ersten Anfängen zurück und fand, dass dieselben an dem Erscheinen kleiner schwarzer Felsenriffe („Pens") zu erkennen sind, zwischen welchen sich einstweilen noch der weisse Strand („Plages") mit seinen Dünen ausbreitet, die aber selbst schon in zahllose kleine Schluchten zertheilt sind**). Nachdem Umlauft Rütimeyer's Doktrin weiteren Kreisen bekannt gegeben hatte [58], gab Rittau [59] die öffentliche Erklärung ab, dass ver-

*) Penck's Glaubensbekenntniss geht dahin [55]: „Die Fjorde gelten uns in ihrer Allgemeinheit nicht ausschliesslich als die Produkte glacialer Wirkungen. Nur theilweise sind sie es, und an der Ausbildung der vielfach verzweigten Fjorde gebirgiger Küsten haben Wasser und Eis vereint gearbeitet."

**) Gestützt auf alte Karten und Annalenangaben, schildert uns Quenault mit lebhaften Farben [57] die Gewalt, mit welcher das Meer die bretagnischen und normannischen Steilküsten heimsucht — insbesondere die Halbinsel Cotentin. Die bekannte Abtei St. Michel ist nur zu oft das Opfer des Anpralles; sie war früher von einem ausgedehnten Walde umgeben, den im März 799 n. Chr. das Meer begrub, wie denn das suchende Auge dort noch immer auf submarine Wälder stösst.

wandte Ansichten früher bereits von Rein in dessen Marburger Vorlesungen mitgetheilt seien; namentlich sei dort hervorgehoben worden, dass die Meeres-, resp. Gezeitenerosion krystallinische Gebiete stärker angreife, als geschichtete. K. Vogt hatte schon vorher ein Vorherrschen der Fjorde an solchen Küsten nachgewiesen [60] deren anstehendes Gestein plutonischen Ursprunges ist.

Wie heute die Dinge liegen, möchten wir die naturgemässe Erosionstheorie bevorzugen und der Beihülfe der Gletscher nur einen bescheidenen Platz eingeräumt wissen. Aber auch die sub a) angeführten Vorgänge können recht wohl gegebenen Falles fjordähnliche Erscheinungen in's Leben rufen*).

§. 5. **Flachküsten unter der Einwirkung der Meeresbrandung.** Wenn auch die dynamischen Beziehungen zwischen Meer und Steilküste dem Geophysiker weitaus die lockendsten Probleme stellen, so sind doch auch diejenigen zwischen Meer und Flachküste der Beachtung sehr würdig. Den richtigen Tummelplatz für die Bethätigung der landlüsternen Absichten des Wassers bietet in dieser Hinsicht die Nordsee, deren Küsten grossentheils in negativer Verschiebung sich befinden (Kap. I. §. 3), und dass die zerstörende Thätigkeit der Wellen einer „sinkenden“ Küste gegenüber ganz andere Erfolge erzielt, als einer stabilen oder gar einer „sich hebenden“ gegenüber, braucht nicht besonders beglaubigt zu werden.

Die Art der Aktion ist hauptsächlich eine ab- und unterspülende. Es müssen wohl nicht gerade, wie man aus der Darstellung im Ackermann'schen Werke [61] entnehmen könnte, steil aufragende Küsten sein, welche bei'm Abrutschen sammt Steinmassen und Baumbeständen als Erzeuger eigenartiger Untiefen, der Steingründe und der uns von früher her bekannten Holzstubben erscheinen; nahe der Küste von Usedom, welche man gewiss nicht zu den Küsten der ersten Art rechnen wird, begegnen wir z. B. dem berüchtigten Steinriff, welches die Sage mit der versunkenen Wendenstadt Vineta identificirt. Genauer analysirt den Abwaschungsvorgang, welcher bei den friesischen Strandbewohnern das Saugen der See heisst, die Abhandlung von Eilker [62]. Wie in dem einleitenden Paragraphen der Lehre von der Wellenbewegung ausgeführt ward, fällt die einzelne Welle, indem sie auf ein sich ihrer Bewegungsrichtung vorlagerndes Hinderniss trifft, vorne über, es steht also den sich heranwälzenden Wassermassen stets eine Rückströmung zur Seite. Der Anprall löst Erde und Gesteinstheile ab, die Rückströmung führt das erodirte Material dem freien Meere zu. Thonige, kalkige, moorige Ufer werden stärker mitgenommen, als sandige.

Die friesische Küste, von Holland bis Jütland gerechnet, hat unter der saugenden Thätigkeit des Meeres am meisten zu leiden gehabt. Ob wirklich in nicht allzulange hinter uns liegender Zeit das deutsche Nordmeer noch ein ruhiger Busen des Atlantik war, bis endlich die — von Strabon angezweifelte**) — kimbrische Fluth den Aermel-

*) Fjorde, die nach innen tiefer werden, mögen wohl auf diese Art entstanden sein.

**) An sich hätte sonst diese Erklärung nicht übel in das etwas gewaltsame geodynamische System des Lampsaceners Straton gepasst, welches Strabon

kanal schuf, das lassen wir mit Francke [64] dahingestellt, doch ist allerdings gewiss, dass stets die aus jener Meeresstrasse heranwogenden Tiden das meiste Unglück über die friesische Küste gebracht haben. Am schlimmsten traf es sich natürlich dann, wenn ohnehin schon die Stellung der attrahirenden Gestirne für eine hohe Fluthwelle sorgte, und wenn dann noch ausserdem der Windstau gegen das Gestade stand*). Die verheerendsten unter den historisch verbürgten Sturmfluthen waren diejenigen von 1170, 1277, 1570, 1717, 1825; nähere Berichte darüber hat Arends gesammelt [65]. Die am 19. November 1421 eingetretene Fluth war mehr lokal für Holland eine verwüstende; sie vernichtete ganz oder theilweise 72 Dörfer und erzeugte den früher weit grösseren, seit lange jedoch schon wieder in Versandung begriffenen Biesboschbusen [66]. Minder sicher festgestellt ist Datum und Art der Entstehung des Dollart. Die Inselguirlande, welche sich vor den Mündungen der Ems und Weser ausbreitet, hatte in früheren Jahrhunderten einen weit weniger fragmentarischen Charakter, als heutzutage; auch Helgoland, jetzt eine kleine und die Leistungen der Brandungserosion an jedem Quadratmeter Küstenfläche bethätigende Steilinsel, hatte vordem ein grösseres, flaches Vorland**). Besonders ungünstig ist noch in unserer Zeit die Situation der nordfriesischen Küsteneilande, der sogenannten Halligen, betreffs deren auf die ausführliche Schilderung von Weigelt [70] zu verweisen wäre. Auf ihnen kann sich der zähe friesische Landmann nur dadurch halten, dass er sein Wohnhaus einem künstlich aufgeworfenen Hügel anvertraut. Diese Warfen oder Terpen geben freilich, ebenso wie die längs der bedrohten Küste aufgeworfenen Deiche, nur einen unzulänglichen Schutz. — Was an der deutschen Nordseeküste geschah und noch geschieht, wiederholt sich selbstverständlich an sehr vielen anderen Orten; diesen allen im Detail nachzugehen, kann hier nicht unsere Aufgabe sein***), vielmehr musste es genügen, ein besonders typisches

---

selbst sich angeeignet hatte; stand es, wie H. Fischer im Einzelnen auseinandergesetzt [63], für dieses System doch fest, dass der Bosporus und die Strasse der Herkules-Säulen durch einen Durchbruch entstanden seien, den das überfüllte schwarze Meer nur zu dem Zwecke bewirkt habe, damit sich das gestörte hydrostatische Gleichgewicht des oceanischen Wassers wieder herstellen könne.

*) Nach Prestel, der die meteorologischen Verhältnisse Ostfrieslands genau kannte, scheinen, wie wir der Eilker'schen Arbeit entnehmen, auch Wirbelstürme mit in Frage gekommen zu sein; wenigstens würde ein Meteorologe der Neuzeit Prestel's noch ganz unter dem Banne Dove'scher Gesetzmässigkeit niedergeschriebene Aeusserungen sich in diesem Sinne zurechtlegen.

**) Früher hegte man etwas abenteuerliche Vorstellungen über Helgoland, das man sich als eine Halbinsel und mit Nordschleswig zusammenhängend dachte [67]. Hahn widerlegt diese selbst in anerkannt treffliche Werke übergegangenen geschichtlichen Mythen treffend [68], und da H. Wagner in seinem grossen Werke [69] ebenfalls mit jenen Phantasmen aufräumt, so darf man zuversichtlich hoffen, dieselben bald gänzlich aus der Literatur verschwinden zu sehen. Als der beträchtlichste Landverlust bleibt derjenige bestehen, durch dessen Eintritt die feste Verbindung zwischen der eigentlichen Insel und der sogenannten „Düne" unterbrochen worden ist.

***) Umfassendere Nachweisungen dieser Art sind in einem lesenswerthen Essay [71] von J. Girard enthalten. Speziell für Frankreich und England verfügt man über die Monographie von Peacock [72], aus welcher zu ersehen ist, dass Yorkshire und Lincolnshire im Laufe der Zeiten vom Meere hart mitgenommen worden sind. Besonders instruktiv erscheint der Process der Unterspülung an der südrussischen Steppe, welche, obwohl hie und da 30—40 m tief abfallend, gleich-

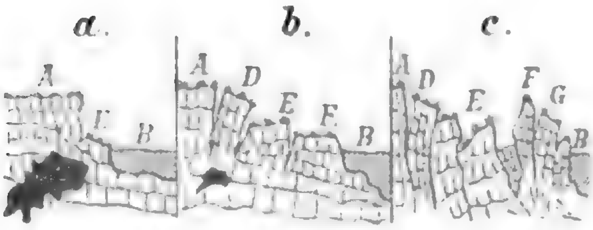
Beispiel herauszugreifen und näher zu beleuchten. Erwähnt sei aber noch, dass die Gestalt ändernden Folgen der Sturmfluthen ganz neuerdings eine den physikalischen Standpunkt betonende Erörterung einer Abhandlung Keller's [74] gefunden haben.

§. 6. **Das Meer als Landbildner.** Wie so häufig in der Welt ein Uebel sein Korrektiv bereits in sich selber trägt, so verhält es sich auch hier, und man kann behaupten, dass die See, mitten in ihrem Zerstörungswerke, schon wieder dazu beiträgt, die angerichteten Schäden zu heilen. So verschiedenartig die aus der aufbauenden Arbeit des Meeres erwachsenden Gebilde sind, so vollzieht sich der Vorgang doch im Grossen und Ganzen stets nach derselben Schablone. Die Woge rollt so weit in das Land hinein, bis die Reibung mit der Unterfläche sie zum Stillstehen und Umkehren zwingt; diese Rückströmung führt, wie wir oben sahen, Sand und Gesteinsfragmente suspendirt mit sich, und diese fallen, sobald die Geschwindigkeit nachlässt, zu Boden, den Grund des Meeres nahe der Küste mehr und mehr dem Wasserspiegel annähernd. Der den Boden bedeckende Sand geräth dabei in ganz eigenthümliche Bewegungen, analog denen, welche später bei der Anhäufung des flüchtigen Meeressandes auf dem Festlande zu beobachten sind*). Allein damit nicht genug. Der rückströmenden Welle wird von der neu ankommenden ein Quantum der von ihr getragenen Sinkstoffe wieder entrissen und näher dem Ufersaume wieder abgelagert. Grobe Steinfragmente ballen sich in den uns bereits bekannten Strandwällen zusammen, deren Bedeutung als Landbildner keine hohe ist; die aus feinem Sande bestehenden Dünen dagegen sind ein für die Morphologie des Strandes besonders wichtiges Element. Als solches sind sie besonders auch durch Peschel's plastische Darstellung anerkannt worden [76], durch welche darauf gedrungen ward, dass Dünen nicht mit Sandbänken oder Barren verwechselt würden.

---

wohl ihres geognostischen Gepräges halber nicht wohl zu den Steilküsten gezählt werden kann. Fig. 87 giebt uns nach Kohl [73] ein Bild von jener zerklüfteten Küste („Obruive"-Abriss). In a sehen wir vor uns den Beginn des Vorganges: A ist die hohe Steppe, E ein dem Meere B entgegensinkendes Stück, dessen Nachgeben auf eine vom Meerwasser in der Basis von A ausgewaschene Höhlung C zurückzuführen ist. In b erblicken wir die Fortsetzung, D, E und F sind noch halb zusammenhängende Bruchstücke des Steppenrandes, die Höhle C ist durch den Schub von oben bedeutend verkleinert. c endlich führt uns eine wirkliche Obruive vor, wie sie von den Gartenkünstlern Odessa's scenisch ausgebeutet wird, die Trümmer A, D, E, F, G ragen in malerischer Unordnung aus dem Meere B auf, und diese Trümmer haben zugleich den früheren Hohlraum C vollständig wieder ausgefüllt.

Fig. 87.



*) G. A. Darwin legte am 22. November 1883 der Royal Society die Ergebnisse seiner Experimentaluntersuchungen über regelmässige Rippungen im Sande des Bodens bewegter Wasserbehälter vor. Der vorläufige Bericht besagt [75]: „Die Bildung unregelmässiger Rippungen oder Dünen durch einen Strom rührt her von dem Wirbel, der auf der Leeseite einer jeden Ungleichheit der Bodenfläche existirt; der direkte Strom führt den Sand an der Wetterseite herauf, und der Wirbel an der Leeseite ... Die regelmässige Rippung wird vom Wasser erzeugt, das im Verhältniss zum Boden in Schwingung ist."

Wenn von Dünen im Allgemeinen, d. h. von losen, sich fortbewegenden Sandhaufen gesprochen wird, so hat man nach Muschketov's Durchforschung der Umgebungen des Aralsee's, von denen uns allerdings nur ein kurzer Auszug [77] vorliegt, dreierlei Gattungen auseinanderzuhalten: Meeresdünen, durch ihren Parallelismus mit der Küstenrichtung und die in ihnen enthaltenen Seemuschelfragmente kenntlich, gips- und thonhaltige Flussdünen, welche nur eine sehr geringe Vertikaldimension erreichen zu können scheinen, und eigentliche Winddünen, Konglomerate aus zusammengewehtem Wüsten- und Steppensande, die auch nicht bis über 10 m Höhe ansteigen.

Klunzinger hatte bereits davor gewarnt [78], die an den Ufern des rothen Meeres nicht selten zu findenden Sandhügel als wahre Meeresdünen anzusprechen, und Sokolow hat jüngst bei Sestroryetsk am östlichen Ende des finnischen Golfes beide Gattungen nicht weit von einander entfernt nachgewiesen [79]*). Dass nicht, wie man dereinst wohl glaubte, die binnenländischen Dünen Reste einer früheren Seebedeckung sein können, hat wenigstens für die Sahara v. Zittel ausser Zweifel gesetzt, indem er darthat, dass ein diluviales Saharameer niemals existirt haben kann [83]**) Durch Beobachtungen von Livingstone (S. 252 dieses Bandes), Fraas, Mösta u. A. glaubt Peschel sich zu der Behauptung autorisirt, dass durch die grellen Temperaturunterschiede der tropischen Gegenden die dortigen Gesteine zersprengt und aufgelöst würden, diese Splitter führe der Wind fort, und indem sie über Felswände dahinstreichen, vermehre sich ihre Menge fortwährend durch Zerreibung der oberflächlichen Gesteinsschichten [84]***). Ob mit dieser Erklärung auch die Binnenlanddünen Turkestan's und Ingermannland's zu bezwingen seien, erscheint uns fraglich; zum Glücke ist die Genese der Küstendünen eine deutlicher vor Augen liegende. Wir wenden uns jetzt diesen letzteren zu.

Damit Dünen entstehen können, müssen erstens alle Bedingungen fehlen, durch welche dem Sande seine freie Beweglichkeit genommen wird, und zweitens ist das Vorwalten einer frischen Seebrise erforder-

---

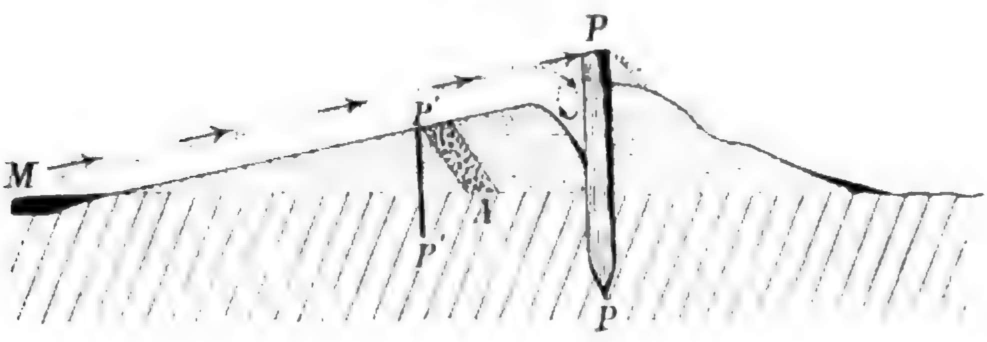
*) Auf die Aehnlichkeit der in der Umgebung der Stadt Dresden vorkommenden Sandbildungen mit echten Dünen wies v. Gutbier hin [80]; auch er ist geneigt, dieselben von einem Diluvialmeer abzuleiten, welches bei Meissen durch einen Damm abgesperrt und zum Binnensee gemacht worden wäre; dessen Wellenschlag habe Sandbänke angehäuft, deren Material dann ein Spiel des Windes geworden sei. Die dortigen Westwinde hätten nach Lösche [81] diese Aufgabe recht wohl erfüllen können. Durch eindringendere geologische Untersuchung der auf dem Sande befindlichen Geschiebe vermochte dann allerdings Jentzsch [82] der Ansicht v. Gutbier's den Boden zu entziehen.

**) Allerhöchstens könnten die tunesischen Schott's ein Anhängsel des mittelländischen, die Oasengegenden im Osten (Jupiter-Ammon) ein solches des rothen Meeres gewesen sein.

***) Diese mechanische Leistung der Sonnenhitze wäre nach der von Peschel (a. a. O.) reproducirten Meinung Letronne's die Ursache des bekannten Tönens der Memnonssäule gewesen, und ebendarauf wäre wohl das von Lenz bemerkte Ertönen von Sandbergen zurückzufuhren. Trink fand solchen Sand auch auf Hawaii: nahm man von ihm beide Hände voll und schlug dieselben dann zusammen, so erscholl ein Laut, ähnlich dem Rufe einer Eule [85]. Man nahm an, dass die Sandkörner hohl seien, und dass die in ihnen eingeschlossene Luft vibrire, wie bei einer Orgelpfeife, allein Noll, der am Rheine tönende Sandbänke entdeckt hat, huldigt wohl mit Grund der Ansicht, dass der durch eine solche Miniaturluftsäule erzeugte Ton auch verstärkt nicht die nöthige Intensität gewinne [86].

lich [87]. Die Gezeiten sind nicht in gleichem Maasse bei der Dünenbildung betheiligt, doch ist allerdings richtig, dass die Dünen am Ufer jener Meere, die keine oder nur eine geringe Tidenbewegung haben, nur kümmerlich sich entwickeln. Die Entstehung einer Elementardüne, wenn dieser an sich wohl verständliche Ausdruck gestattet ist, glauben wir nicht besser, als mit den Worten Senft's [88] veranschaulichen zu können: „Stellt sich den sandführenden Luftströmungen in der Entfernung von 14 bis 17 m von der gewöhnlichen Fluthlinie irgend ein Körper, z. B. ein Steinblock, entgegen, dann setzen jene an der ihnen zugewendeten Seite desselben solange Sand ab, bis derselbe ganz mit Sand belegt ist. Hat in dieser Weise die Sandbelegung die volle Höhe eines Körpers erreicht, dann schieben die weiter noch nachfolgenden und am Boden hinstreichenden Lufströmungen den theils schon abgesetzten, theils noch aus ihnen niedersinkenden Sand über den Gipfel oder Rücken des übersandeten Körpers hin nach dessen Rückenabfall, so dass zuletzt über dem ganzen Körper ein Sandhügel entsteht, welcher an der Vorder- oder Seeseite ganz allmählig ansteigt, an der Hinter- oder Landseite aber schroff abfällt und, je nach der Gestalt des seinen Kern bildenden Körpers, bald einen stumpf abgerundeten Kegel, bald einen dachförmigen Rückenhügel darstellt." Fig. 88 verdeutlicht den Hergang. Aus dem Meere M wird der Seesand

Fig. 88.



durch die in Gestalt kleiner Pfeile sich darstellende Luftströmung fortgeführt, als erstes Hinderniss trat ihr der Pfahl P'P' entgegen. Dieses Hinderniss ist bereits längst überwunden, der Pfahl ist völlig in die Düne eingebettet, und dieselbe hat sich nunmehr bei weiterem Vordringen mit dem höheren Pfahle PP abzufinden. Ein Theil des Seewindes sammt suspendirtem Sande kommt anstandslos über die Spitze des Pfahles hinweg und lässt, wie man sieht, in Folge der Reibung das mitgeführte Material fallen, aus welchem sich der annähernd nach einer logarithmischen Linie als Profilkurve (Band I, S. 332) geböschte Hügel in Lee bildet. Die tieferen Windmassen stossen am Pfahle an, es bilden sich diesseits kleine Windwirbel, und die Folge derselben ist die, dass der Sand, ehe er noch den Pfahl erreicht, gleichfalls in steiler Böschung abstürzt. In der Regel befindet sich also vor dem Hinderniss, solange dasselbe noch nicht vollkommen überwunden ist, eine kleine Grube. Das Material, aus welchem eine Düne aufgebaut wird, braucht kein ganz homogenes zu sein, Stürme z. B. können weit gröbere Sand-

qualitäten heranbringen, als die gewöhnlichen Seewinde [89]. Unser idealer Durchschnitt der Düne zeigt uns eine solche Schicht bei A*).

Die Geschwindigkeit des Vorrückens ist bei den Dünen je nach ihrem Baumaterial, nach der Intensität und Beständigkeit der Winde, nach der Beschaffenheit des Untergrundes u. s. w. eine verschiedene. In Pommern wird nach P. Lehmann**) eine Maximalgeschwindigkeit von 9 m pro Jahr beobachtet [92]. Der Stoff, aus dem sie bestehen, ist vorwiegend zerstörtes Diluvium; sie erreichen eine ansehnliche Höhe und präsentiren sich z. B. bei Stolpmünde als eine zu einem förmlichen Dünengebirge gewordene Aneinanderreihung von Dünenwällen mit Gipfeln von 20 bis 30 m Höhe [93]. In Holland kommen nach Reclus [94] Dünenkämme von 40 m, an der afrikanischen Westküste solche von 120 und 180 m Höhe vor. Keller giebt Normen für die Breite der Küstenzone, welche von den Dünen erfüllt zu werden pflegt [95]. Die Dünen erweisen sich vielfach als ein Danaergeschenk des Meeres, indem sie unter ihren Sandmassen Bauwerke und Kulturen begraben. Man sucht sie deshalb festzumachen, und diess gelingt dadurch, dass man dem Sande gehörige Mengen geeigneter Pflanzen anvertraut. Sandhalm und Strandhafer eignen sich hiezu besonders gut; die Wurzeln der Gräser bilden ein verfilztes Geflechte, in welchem sich der wandernde Sand verfängt [96]. Allmählig siedelt sich dann auch anderweite Vegetation an, und in Frankreich hat man es sogar dahin gebracht, die Dünenketten von hochstämmigen Bäumen bestanden zu sehen. Freilich hat gerade dieses Land auch am meisten gesündigt; die „Landes“ in Guyenne waren früher ein fruchtbarer Landstrich, und erst nach der sinnlosen Abholzung der Uferstriche gelang es den Dünen, die Gegend in einen sterilen Moor- und Sumpfdistrikt zu verwandeln.

Jenseits der Dünenreihen breitet sich in vielen Küstengegenden ein Streifen Landes aus, der ebenfalls der landbildenden Thätigkeit des Meeres, wenigstens theilweise, seine Entstehung verdankt. Es ist diess das Marschland (kurzweg die Marsch genannt), über dessen Bildung hervorragende Geologen, wie J. G. Forchhammer [97] und Senft [98], sich haben vernehmen lassen. Die Abhandlung des Letztgenannten soll uns zur Führerin dienen. Marschen***) können sich bilden an Flüssen, Seen und Meeren. Der Fluss, dessen Ufer mit grossen und tiefen, an ihrem Eingange aber engen Ausbuchtungen ausgestattet ist, bewirkt dadurch, dass er immer neue Wassermassen in jene Buchten

*) So fand Schumann bei Cranz auf der kurischen Nehrung in einem 9 m hohen Dünenwalle, in der Richtung von oben nach unten, Sedimente aus folgenden Materien [90]: Waldhumus, grauen Dünensand, Humus mit Baumstümpfen eines verschütteten Waldes, kalkigen weissen Sand mit Humusschichten eines noch älteren Waldes, hellgrauen Sand, Torf mit Moos, Erlen- und Fichtenresten, grauen Sand, Torf, grauen Sand, Torf. Man kann an dieser Reihenfolge die einzelnen Stadien des Dünenbau's studiren, denn offenbar konnte sich das Pflanzenkleid, welches unter den von einem gewissen Momente ab wieder in's Vorrücken gekommenen Sandmassen sein Grab fand, nur in Perioden verhältnissmässiger Ruhe bilden.

**) Lehmann lieferte schon früher ein treffliches physisches Gemälde eines Theiles der Ostseeküsten [91].

***) Die Etymologie des Wortes „Marsch“ ist nach Senft dieselbe, wie die von „Morast“.

hineinsenden will, während dieselben doch schon völlig angefüllt sind, eine Wirbelbewegung und Stauung, deren Konsequenz ein aus den nunmehr niederfallenden Festkörpern sich bildender und rasch anwachsender Schlammwall ist. Im Sommer trocknet der Schlamm aus, im Winter bilden sich während der Hochfluthen neue Schlammbänke, und so entsteht der morastische Flussmarschboden, der durch Kanalisirung und Schutzbauten in fruchtbaren Werder umgewandelt werden kann. Die Seemarsch hat einen im Wesentlichen ähnlichen Ursprung. „Unter sonst günstigen Bildungsverhältnissen," so resumirt Senft [99], „zeigen sich hiernach Marschablagerungen: I. in beckenförmigen, mit buchtigen Ufern versehenen, nicht zu tiefen Binnenseen immer zunächst in den Uferbuchten und zu beiden Seiten der Einmündung von schleichenden Zuflüssen, wachsen aber dann von diesen ihren Ablagerungsstätten nach der Mitte der Seen zu, bis in diesen nur noch ein kleiner, allmählig immer seichter werdender und zuletzt sich mit Erdschlamm ganz schliessender Wassertümpel übrig bleibt; II. in Seen dagegen, welche eine von der Einmündung ihres Zuflusses an schief abfallende Sohle besitzen, zunächst zu beiden Seiten des Einflusses und wachsen dann, aber sehr langsam, einseitig nach der Seemitte zu, so dass die vordere Hälfte des See's ganz morastig erscheint, während die hintere Seehälfte noch aus verhältnissmässig reinem Seewasser besteht." Auch wenn von den Marschen des Meeres die Rede ist, hat man die auf Fluthstauung zurückzuführenden Strommündungs- oder Brackwassermarschen zu trennen von den Salzwasser- oder Meeresmarschen im engeren Sinne, welch' letztere ein reines Sediment des Meeres sind und deshalb reichen Vorrath von Seesalz enthalten [100]. Zwischen der Inselkette, welche das Land der Friesen umsäumt, und dem eigentlichen Festlande erstreckt sich ein seichtes, zur Zeit der Ebbe fast trockenen Fusses zu begehendes Meer, das Wattenmeer, dessen Tiefe durch den vom Meere abgelagerten Schutt noch fort und fort zu Gunsten der friesischen Marsch vermindert wird. Zuerst hebt sich aus den Watten ein einzelner festerer Fleck, ein sogenannter Blick, da und dort hervor; verschiedene Blicke gerinnen so zu sagen zusammen und bilden den Blickenboden, dessen üppiger Humus die verschiedensten Gewächse anlockt. Haben sich erst allenthalben Wiesengräser angesiedelt, so nennt der Friese den Blickenboden Heller, versieht ihn mit Drainage und Deichen und schafft sich so das zu Kulturzwecken vorzüglich geeignete Neuland (Polder). Die Sommermarschbildung weicht in ihrer Zusammensetzung von der Wintermarschbildung einigermassen ab; im Uebrigen unterscheidet man dreierlei Hauptarten des Marschbodens [101]: den Knick, einen gelbbraunen, knet- und formbaren Thon, den Klei, eine aus Thon, Sand und kohlensaurem Kalk bestehende Substanz voll von thierischen Ueberresten, und den Schlick, ein graues oder bläuliches Konglomerat aus Thon, Quarzmehl und Humusbestandtheilen.

Das Alluvium des Meeres besteht, von Dünen und Marschen abgesehen, noch aus anderen Bodenformen, für welche sich, wie namentlich aus dem Berendt'schen Begleittexte zu Meyn's geologischer Spezialkarte Nordalbingien's zu ersehen ist [102]*), in Nordfriesland

*) Am Kamme des längs der Longitudinalaxe der Halbinsel hinstreichenden Höhenzuges beginnt der unfruchtbare Haiderücken oder die hohe Geest,

und Dithmarsen eine reichhaltige Terminologie herausgebildet hat, welche namentlich in agronomischer Beziehung wichtig ist.

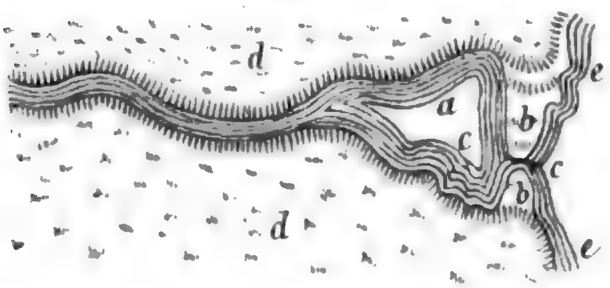
§. 7. **Kombinirte Thätigkeit von Meer und Fluss; Lagunen und Delta's.** Es liegt auf der Hand, dass die Konsequenzen der bisher von uns verfolgten Meeresaktion andere, als die bisher erörterten, sein werden, wenn an gewissen Theilen der Küste die bewegten Süsswassermassen eines aus dem Inlande kommenden Stromes jener Aktion entgegenarbeiten oder auch unter Umständen sich mit derselben zu gemeinsamem Werke vereinen. Der geniale Strabon besass für die Erkundung der Erfolge dieser Doppelthätigkeit ein besonders geschultes Auge; mehr als die Hälfte der schönen Abhandlung, in welcher H. Fischer den Altmeister von Amasia als Hydrographen schildert, musste den Wechselbeziehungen zwischen Salz- und Süsswasser eingeräumt werden [104].

In erster Linie bringt man die Thätigkeit der Flüsse mit den von v. Sonklar zuerst so bezeichneten Aufstauungsseen in Verbindung. Dieselben entstehen nach dem genannten Forscher (s. o. §. 1) dann, wenn Dünen eine Flussmündung verlegen; es bilden sich dann Strandseen, Lagunen, Haffe, Wieke. Diess ist auch im Allgemeinen richtig; wenn Inseln oder Halbinseln einen Meerestheil bis zu einem gewissen Grade abschliessen, so gewähren sie den einmündenden Strömen die Möglichkeit, die mitgeführten festen Stoffe weiter, als es sonst möglich wäre, in's Meer hinauszutragen, und eben diese Sinkstoffe tragen dann zur Verstärkung der abschliessenden Barre bei [105]. Näher untersucht den Process der Strandseebildung Ackermann [106]; er zeigt, wie sogenannte Inselkerne (Kempe) den Anstoss zu diesem Vorgange geben, und unterscheidet drei verschiedene Stadien der Entwickelung bis zum vollkommenen Strandsee; auch erläutert er [107] die grosse Vergänglichkeit solcher Wasseransammlungen, die einerseits durch fluviatile Anschwemmung verkleinert, andererseits durch Vertorfung überhaupt in einen ganz anderen Zustand übergeführt werden. Die schmalen Landzungen, welche häufig vor einem Haff sich hinziehen, führen den Namen Nehrung (frische und kurische Nehrung in Altpreussen). Nehrungen giebt es fast an allen Meeresküsten, wie schon daraus erhellt, dass die verschiedensten Idiome ein eigenes Wort dafür besitzen; im Italienischen sagt man Litorale oder Lido, im Russischen Peressip. Allbekannt ist der Lido von Venedig, ein schönes Beispiel eines Peressip ist die Landzunge von Arabat am asow'schen Meere. Wir geben in Fig. 89 nach Kohl (a. a. O.) die Charakteristik eines Peressip b, der durch einen Steppenfluss gebildet ist. Er schliesst den Strandsee a, russisch Liman, vom

bedeckt mit diluvialem Geschiebesand, zwischen zwei benachbarten Haiderücken dehnt sich das bereits altalluviale Blachfeld aus. Dieses senkt sich schliesslich als Vorgeest herab, an deren Rande beginnt die fruchtbare Marsch, häufig mit vorgelagertem Gründlandmoor, der Vormarsch. Wo der für die Marschbildung erforderliche Schutz der Inseln fehlt, grenzen an die Geest die trostlosen Meeresdünen. Uebrigens hat Schleswig-Holstein auch Binnenlanddünen; die von Lauenburg bis zum Nissum-Fjord vielfach die Grenze von Marsch und Geest markirende Reihe von kleinen Erhebungen hatte bereits v. Maack [103] als des Gepräges einer Meerbildung baar bezeichnet.

Meere ab, jedoch nicht vollständig, da er durch eine Oeffnung (Girl) cc unterbrochen ist. Der gegen den Fluss abfallende Höhenzug der Steppe dd pflanzt sich, wie man sieht, in verschiedenen Abstufungen auf die Nehrung fort. ee ist die offene See. Das auffallende Beispiel eines mit zwei geschlossenen Nehrungen versehenen und bereits Ansätze zur dritten darbietenden Strandsee's bietet die Halbinsel des Monte Argentario an der toskanischen Küste [108]. Jener Strandsee ist den Inländern als „Stagno" bekannt — dasselbe Wort, welches auch die Franzosen für ihre bekannten fieberschwangeren Lagunen, die Etang's, gebrauchen. — Besonders berühmt waren von je die Lagunen von Venedig, die ihrer Zeit schon Strabon's Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatten (s. o.). Hier sehen wir einen Strandsee der Vernichtung durch fortschreitende Sandausfüllung überantwortet; die Ursachen davon sind uns genau bekannt durch die Schilderung von Kovatsch [109], aus welcher Keller das Bedeutsamste mittheilt [110]. Die venetianischen Lagunen sind theils lebendige, d. h. auch zur Ebbezeit mit Wasser bedeckt, theils todte, morastige, dem Lande anliegende Mulden, die nur durch die Fluth meeresähnlich werden. Erstere verlieren an Terrain zu Gunsten der letzteren, dadurch wird die mechanische Leistungsfähigkeit der Rückströmung eine immer geringere, und die Sandbänke wissen der Saugkraft dieses Stromes mit jedem Jahre besseren Widerstand zu leisten. Dadurch, dass man die an Sinkstoffen reichen Flüsse, zumal die Brenta, mittelst Kunstbauten von den Lagunen ferne hält, sowie dadurch, dass man die Ausgänge (Porti) regulirt, kann man vielleicht nach dem bisher ungleichen Kampf zu Gunsten des Wassers entscheiden, allein die Gefahr ist keine geringe, und vor Allem erscheint Chioggia durch die Laguna morta ernstlich bedroht.

Fig. 89.



Die Strandseen spielen eine Rolle in v. Sonklar's Klassifikation der Flussmündungen, welche vier wesentliche Formen aufweisen sollen [111]. Eine einfache Mündung ist vorhanden, wenn der Fluss, wie es z. B. bei mehreren spanischen Flüssen und bei'm Colorado des Westens der Fall sein soll, ungetheilt und ohne auffällige Erweiterung seines Rinnsales sich in's Meer ergiesst. Ein negatives Delta oder Aestuarium ist dann vorhanden, wenn der Fluss sich vor seinem Austritte zu einer mit Brackwasser gefüllten, das Rastern begünstigenden Bucht erweitert (Amazonas, La Plata, Lorenzstrom, Weser, Elbe, Loire, Garonne, Themse, Tejo). Die Haffmündung, charakterisirt durch Oder und Weichsel, ist v. Sonklar's dritte Modalität, und an vierter Stelle erscheint die Deltamündung. Gegen diese Eintheilung erhebt G. R. Credner, dessen in recht vielen Beziehungen grundlegende Arbeit [112] uns für den weiteren Verlauf dieses Paragraphen zur Leitschnur dient, einen nicht ungerechtfertigten Protest [113]. Warum sollen nicht z. B. Deltamündungen zugleich auch Haffmündungen sein können? Warum sollen Aestuarien und Delta's Gegensätze sein, während sie es doch bei'm Parana und La

Plata nicht sind? Credner selbst begründet eine andere Kategorieenbildung auf die Rolle, welche den Flüssen als geologischen Werkzeugen zufällt, und es entsteht so (a. a. O.) folgendes Tableau:

Mündungen ohne vorgelagerte fluviatile Schwemmlandbildungen.		Mündungen mit vorgelagerten fluviatilen Schwemmlandbildungen.		
Ohne Rinnsal-Erweiterung.	Mit Trichteröffnung.	Einfache Oeffnungen.	Getheilte Oeffnungen.	
			Ohne / Mit erweiterten Mündungskanälen.	
Duero, Guadiana, Letina, Limpopo, Cunene	Elbe, Weser, Themse, Seine, Loire, Garonne	Ebro, Arno, Hoang-Ho, Pei-Ho	Po, Rhône, Mahanaddi	Ganges, Niger, Irawaddi

Wiewohl auch diese Eintheilung angesichts der Neigung der Natur zur Varietätenbildung ihre Mängel haben muss*), so wollen wir uns doch vorläufig bei derselben beruhigen, da wir eine bessere weder anderweitig kennen, noch selbst zu geben im Stande sind. Wenn wir einen Wunsch hätten, so wäre es der, dass auf die Stellung des den Fluss aufnehmenden Meeres zur Gezeitenbewegung auch im Systeme Bedacht genommen worden wäre, denn dass diese die Art der Mündung mit bestimmt, ist eine nicht erst von van der Wyk wahrgenommene, aber doch von ihm zuerst [115] scharf accentuirte Thatsache.

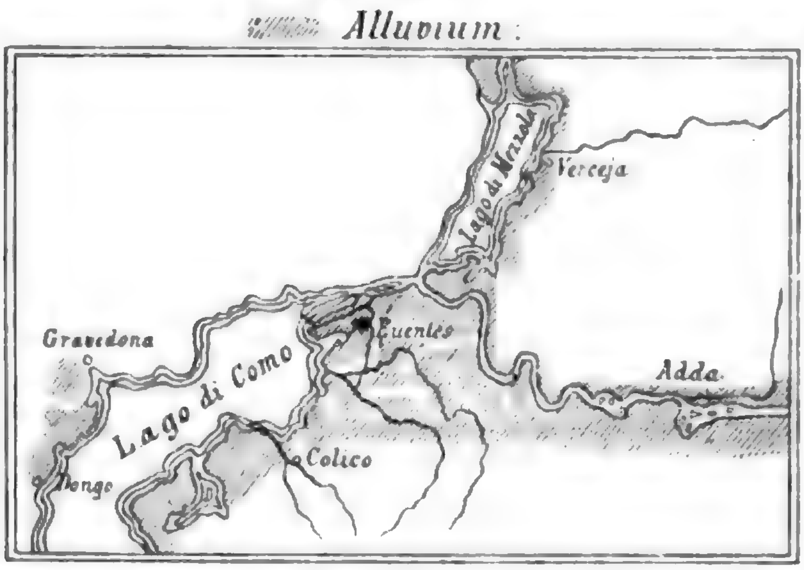
Wenn wir nunmehr von den Deltabildungen der Flüsse im Einzelnen reden, so lassen wir die Entstehung dieses Namens insoferne unberücksichtigt, als die dreieckige Form nicht mehr das hervorstechendste Unterscheidungszeichen für uns bildet, vielmehr rechnen wir hierher mit Credner sämmtliche Gruppen unserer obigen zweiten Hauptkategorie, schliessen aber, worauf schon v. Hoff und v. Humboldt**) hinwirkten [116], alle Formationen aus, welche aus zufälligen Gründen den geometrischen Charakter an sich zu tragen scheinen. Entscheidend für die Frage, bis zu welchem Punkte des Flusslaufes ein Delta sich ausdehne, ist „der fluviatile Ursprung des betreffenden Areales und dessen Unterlagerung durch recente Gebilde stehender Gewässer“ [117]. Da, wo ein Delta allmählig in eine Alluvialniederung übergeht, wie bei'm Po und Ganges, ist eine scharfe Abgrenzung kaum durchführbar. Nach ihrer Gestalt kann man unsere Gebilde in vorgeschobene Delta's (Mississippi, Lena) und in Ausfüllungs-Delta's (Nil, Donau) eintheilen, allein der Schwerpunkt einer ganz gesunden Eintheilung liegt weniger im morphographischen, als im genetischen Verhalten der Delta's. Deshalb hat auch die Klassifikation nach der Anzahl der das Delta bildenden Zweige [118] — ein Hauptstrom, mehrere äquivalente Arme, wirres Netz von Flussadern — nur

*) So bemerkt Krümmel, die Auffassung müsse im Einzelfalle allzusehr von der Güte der gebrauchten Spezialkarte abhängen; der Limpopo z. B. lasse auf der englischen Admiralitätskarte deutlich eine trichterförmige Mündung erkennen [114].

**) Es eignet sich für diese binnenländischen Stromverzweigungen der Humboldt'sche Ausdruck Anastomosen.

einen bedingten Werth. Aeusserlich stellen sich die Delta's dar als horizontale, wenig über den Seespiegel erhabene Ebenen, selten mit spärlichen Terrainwellen, häufig mit einem sumpfigen Küstensaume versehen. Die Mächtigkeit der Schwemmlande ist natürlich eine sehr verschiedene, das vielberufene Nildelta ist z. B. weniger kompakt, als das Rhônedelta bei Aigues-Mortes, wo in 100 m Tiefe das Liegende noch nicht erreicht ward [119]. Den Grundstock des Materiales bilden die von den Flüssen mechanisch fortgeführten und abgesetzten Schlamm- und Sandtheilchen, Quarz in fein zerriebenem Zustande, thonige Zersetzungsprodukte, endlich in geringerer Menge vegetabilische und in noch geringerer animalische Substanzen. Diese organischen Beimischungen bewirken ab und zu in den Delta's das Auftreten kleiner Gaskrater („Mud lumps“ am Mississippi) [120]. Die Lagerung der Sedimentschichten ist den Untersuchungen Tyler's [121] zufolge gewöhnlich eine horizontale, wenigstens bei Meeresdelta's, denn die Schwemmlager der in Binnenseen sich ergiessenden Wasserläufe sind begreiflicherweise oft stark geböscht.*) Die Wachsthumsstärke ist bei jedem Delta eine andere, bestimmte Normen scheinen sich dafür nicht angeben lassen zu wollen; sehr stark ist die Zunahme bei dem in's kaspische Meer fliessenden Terek (495 m), bei'm

Fig. 90.



Nil beträgt sie 4 m, bei'm Tiber blos 1 m [123]. Die Deltabildung bringt es mit sich, dass das Bett im Unterlaufe der Flüsse sich erhöht, ja theilweise eine totale Verlegung erfährt**), das Mündungs-

*) Desor macht mit Rücksicht auf diese grundsätzliche Verschiedenheit den beachtenswerthen Vorschlag [122], die Giessbachdelta's („delta torrentiel“) von den marinen Delta's überhaupt zu trennen.

**) Auf diese Stromverlegungen näher einzugehen [124], hatte Ackermann allen Grund, denn sowohl an der livländischen, als an der westpreussischen und pommer'schen Küste (Elbinger Weichsel, Rega) begegnet man Ablenkungen der Stromläufe, die meist auf eine am Ufer hinstreichende Meeresströmung zurückzuführen sind. „In Folge dessen lagern sich in dem Winkel zwischen der Richtung des einströmenden Flusswassers und der gewöhnlichen Richtung der an die Küste schlagenden Wellen Sinkstoffe ab, und der Fluss wird genöthigt, senkrecht oder wenigstens nahezu senkrecht zu der Richtung der Wellen seine Mündung weiter und weiter zu verlegen.“ Die grossartigste Flussbettverlegung, welche man kennt, ist das „pendelartige Hin- und Herschweifen“ des Hoang-Ho, der seinen 1856 plötzlich und unter verheerenden Ereignissen genommenen Weg vor nich

system selbst wird mit der Zeit ein anderes, wie denn der Nil von den sieben bei Strabon erwähnten Mündungen [126] heute nur noch zwei benützt. Verschiedene Delta's können sich zu Einem verschmelzen, wie es z. B. bei'm Rhein und den nahe seiner Mündung in den Bodensee sich ergiessenden Zuflüssen aus Vorarlberg, ferner bei'm Euphrat und Tigris der Fall war, kleinere Binnengewässer und Meeresgolfe werden nicht selten durch die fortschreitenden Delta's ausgefüllt oder doch getheilt. Unsere Fig. 90 versinnlicht nach Credner [127] einen besonders charakteristischen Abschnürungsprocess, denjenigen nämlich, durch welchen das Adda-Delta nahe bei der alten spanischen Zwingburg Fuentes den oberen Theil des Comersee's von dessen Rumpfe loslöste. Inseln werden vom Delta erfasst und landfest gemacht; so ist z. B. das kleinasiatische Ladegebirge, das noch zu Herodot's Zeit allseitig von Wasser umgeben war, von v. Hoff [128] für eine Erwerbung des Mäander-Delta's erklärt worden*). Das Alter der Delta's ist häufig ein sehr hohes, allein genaue Berechnungen können darüber nicht existiren**). Die Deltastatistik Credner's wird in Krümmel's Besprechung um 37 Fälle vermehrt, so dass jezt auf Europa 58, auf Asien 70, auf Afrika 17, auf Amerika 28, auf Australien 7 derartige Bildungen zum mindesten entfallen. Irgendwelche Regelmässigkeit in Bezug auf deren geographisches Verhalten ist nicht vorhanden; die sonderbare Behauptung Ritter's, dass die Delta's auf mittlere und niedere Breiten beschränkt seien [132], findet im Lenadelta ihre vollgültigste Widerlegung. — Die Bildung des Delta's näher analysirend, stellt Credner nochmals fest [133], dass die Sedimentablagerung der Flüsse die primäre Ursache ist***), doch würde man irren, wenn man sich mit diesem Faktum zufrieden geben wollte, denn nicht alle sinkstoffhaltigen Ströme bilden Delta's. Ebensowenig thut es die Stromgeschwindigkeit allein, und auch der Gegensatz von Flach- und Steilküsten scheint für die Deltabildung ziemlich irrelevant zu sein. Die Gezeiten bieten für die Ablagerung der Sinkstoffe jedenfalls kein Hinderniss [137], Meeresströmungen und Winde mögen ihren lokalen Einfluss ausüben, allein keiner der verschiedenartigen Beeinflussungen

---

langer Zeit wieder aufgab, um in sein altes Rinnsal zurückzukehren. Guy de Contenson hat eine beide Flussläufe darstellende Karte geliefert [125]. — In erkennbarerer Weise, nämlich durch eine Eisstopfung veranlasst, vollzog sich der bekannte Weichseldurchbruch bei Neufahrwasser.

*) Andere Vorkommnisse dieser Art führt Strabon auf, der nur, durch die typischen Verhältnisse der in's Mittelmeer mündenden Flüsse verführt, irrig deren landbildende Eigenschaften für eine Naturnothwendigkeit erklärte [129].

**) Wie weit hier die Schätzungen auseinandergehen, darüber belehre uns nachstehendes Beispiel [130]: Nach Vogt wird im Mississippi-Delta 126000, nach Lyell ebendort 67000, nach Humphreys und Abbot 4400 Jahre lang Schlamm abgesetzt! Kjerulf warnt vor allen übertriebenen Berechnungen [131].

***) Genaue Messungen der von Flüssen fortgeführten Sinkstoffmengen fehlen leider sehr. Welche Quantitäten häufig in Rede stehen, zeigen uns die Nachweisungen von Guppy [134] über die Ablagerungen des Yang-tzse und von Doyle [135] über das von den hinterindischen Strömen bewirkte Seichterwerden des Golfes von Artaban. Die Transportkraft des Wassers durch Versuche zu bestimmen, war ein glücklicher Gedanke Vogt's [136], doch ist es betreffs dieser Versuche bei den ersten Anfängen geblieben. Das erdige Material, welches der Ganges im Laufe eines Jahres stromabwärts schafft, würde nach Everest's relativ genauen Messungen ausreichen, um eine Fläche von etwa 14000 Quadratkilometern um 0,3 Meter zu erhöhen.

des Sedimentationsprocesses kann eine so tiefgreifende Bedeutung beigemessen werden, um aus ihr das Fehlen oder Vorhandensein der Delta's im Allgemeinen herzuleiten [138]. Als das neben der Schlammablagerung wichtigste Moment für Entstehung und Fortbildung der Delta's erscheint die Vertikalbewegung der Uferlinie (s. Kap. I). Senkungen erweisen sich als ein Hinderniss, dem Wachsthum des Nil-Delta's ist ein Ziel gesetzt, die Delta's des Hudson und des Connecticut-River sind versunken. Umgekehrt verhält es sich mit den Hebungen; dass diese die Deltabildung in günstigem Sinne beeinflussen, kann als ein durch Credner's mit hingebendem Fleisse gearbeitete Tabelle [139] bewiesener Lehrsatz gelten. Credner prüft die analogen Verhältnisse auch bei den Binnenseen und gelangt zu dem Schlusse, dass für sie chronische Verminderung des Wasserspiegels dieselbe Wirkung habe — heutzutage würde er diesen Unterschied vielleicht nicht so sehr betont haben, als es damals, vor sieben Jahren, allerdings noch erforderlich schien. Indem wir diese durch die Darlegungen unseres ersten Kapitels gebotenen Modifikationen anbringen, können wir dem Schlusssatze unserer Vorlage [140] folgende Formulirung ertheilen: Positive Verschiebungen der Küste sind es, unter deren Einfluss die Anschwemmungen der Flüsse trotz sonst vorhandener ungünstiger Verhältnisse über den Seespiegel hervortreten, während im Gegentheile negative Uferverschiebungen die Bildung neuer Delta's verhindern und früher entstandene wieder unter den Fluthen verschwinden lassen. Der Po allerdings und die Rewa auf den Viti-Inseln wollen nach Krümmel [141] dieser Regel sich nicht unterordnen, doch möchte dieselbe, als in einem sehr vollständigen Induktionsschlusse begründet, durch vereinzelte Ausnahmen wohl nicht ernstlich erschüttert werden können.

§. 8. **Morphologie der Seehäfen.** Unter diesem Titel hat Krümmel eine interessante Abhandlung erscheinen lassen [142], deren Ergebnisse offenbar in dieses von der Modellirung der Küsten handelnde Kapitel gehören. Als erste Bedingnisse erscheinen für einen guten Seehafen ordentlicher Ankergrund und Fernehaltung des Seeganges. Ankergründe schlechtweg und Rheden haben, weil auf ihnen die Schiffe der Gewalt des Sturmes noch immer preisgegeben sind, nicht die Bedeutung eines Hafens; werden sie, wie es bei Madras geschah, durch Wellenbrecher u. dgl. vor der Dünung geschützt, so verwandeln sie sich in künstliche Seehäfen, und diese liegen ausserhalb des Rahmens unserer Betrachtung. Genetisch zerfallen die natürlichen Häfen in drei Klassen: Einbruchshäfen, Fluss- oder Mündungshäfen, Verbauungshäfen. Natürlich sind diese drei Typen nicht strenge gesondert, sondern durch Uebergangs- und Zwischenformen unter einander verbunden. Häfen der ersten Art bilden sich besonders an Gesteinsküsten, die im Zustande einer negativen Niveauschwankung sich befinden, Stürme und Brandung wirken bei der Entstehung mit, auch das gesellige Auftreten dieser Hafengattung, wie wir es zumal bei den „Ria's“ in Nordspanien erblicken, ist für dieselbe bezeichnend. Rio de Janeiro und San Francisco lassen ein Hinterland erkennen, welches vom Meere nach dem Durchbrechen des vorgelagerten Ufer-

walles überschwemmt ward, auch die Yeddo-Bay mit Yokohama macht, von Einzelheiten abgesehen, einen ähnlichen Eindruck. Das letzte, vorgeschrittenste Stadium der Einbruchshäfen repräsentiren die Inselhäfen, wie Tyrus und Alexandria im Alterthum, die Insel Wight mit Southampton und Brighton im heutigen England; auch der Hafen von New-York mit Brooklyn kann hierher gerechnet werden, obwohl sich auch hier bereits die Mitwirkung einer Flussmündung geltend macht. Wenn die Inseln vor einer Flachküste sich ausdehnen, so kommen, wie das Beispiel Norddeutschland's beweist, minder gute Häfen zu Stande, es bilden sich Barren, die gewöhnlich nur der Gewalt eines grösseren Flusses weichen (Jadebusen, Ems- und Wesermündung). An Korallenküsten eignen sich die Flussmündungen um dess willen sehr gut zur Hafenanlage, weil die Korallenthiere im süssen Wasser nicht bestehen können. Die Flusshäfen eignen sich besser für Aestuarien, als für Deltamündungen, weil die Gezeitenströme das Aus- und Einlaufen der Fahrzeuge zur richtigen Zeit begünstigen und die Schifffahrtsrinne vertiefen. Freilich ist diese letztere ohne zeitweilige Baggerung immer der Gefahr der Versandung ausgesetzt; auch die im vorigen Paragraphen besprochene Verlegung der Stromrichtung muss als schädlicher Faktor mit in Rechnung gezogen werden, wie denn der Emsarm, der noch im späteren Mittelalter die Stadt Emden berührte, seither nur durch Kunst wieder mit letzterer in Verbindung gesetzt werden konnte [143]. Am seltensten sind die Verbauungshäfen, welche dann entstehen, wenn durch vulkanische Aufschüttung oder durch Anschwemmungen schützende Wälle an Küsten sich bilden, durch welche das Hafenbassin vom Meere abgesondert wird.

[1] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1884. S. 461. — [2] Hahn, Inselstudien, Leipzig 1883. S. 129 ff. — [3] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 465. — [4] Geikie, The scenery of Scotland, London-Cambridge 1865. S. 39 ff. — [5] Hibbert, Description of the Shetland islands, Edinburgh 1822. — [6] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, Wien 1873. S. 53 ff. — [7] Hind, Ice-work in Labrador, Nature, Vol. XXIII. S. 569. — [8] Eisvulkane in Canada, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 7. Jahrgang. S. 136. — [9] v. Richthofen, China; Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien, 2. Band, Berlin 1882. S. 766 ff. — [10] Ibid. S. 768 ff. — [11] Ramsay, Physical geography and geology of Great-Britain, London 1864. S. 140 ff. — [12] v. Richthofen, China, S. 773 ff. — [13] Ibid. S. 130 ff. — [14] Colnet-Briart, Sur le relief du sol en Belgique après les temps paléozoiques, Ann. de la soc. géol. de Belge, 1877. S. 71 ff. — [15] H. Reusch-Baldauf, Einiges über die Wirkung des Meeres auf die Westküste Norwegens, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1879. S. 244 ff. — [16] Ibid. S. 254. — [17] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara, deutsch von Vogt, 1. Abtheilung, Jena 1872. S. 151 ff. — [18] Mohn, Bidrag til kundsgaben om gamle strandlinier i Norge, Nyt Mag. f. Naturvidenskaberne, 1876. S. 19 ff. — [19] Pettersen, Terrassen und alte Strandlinien, deutsch von R. Lehmann, Zeitschr. f. d. ges. Naturw., 53. Band. S. 783 ff. — [20] Ibid. S. 837 ff. — [21] R. Lehmann, Ueber ehemalige Strandlinien im anstehenden Fels in Norwegen, Halle 1879. — [22] R. Lehmann, Zur Strandlinienfrage, Zeitschr. f. d. ges. Naturw., 53. Band. S. 280. — [23] Penck, Schwankungen des Meeresspiegels, München 1882. S. 57 ff. — [24] R. Lehmann, Zur Strandl. etc., S. 282 ff. — [25] Ibid. S. 285. — [26] Daykins, The parallel roads of Glenroy, Geol. Mag., 1879. S. 529 ff. — [27] W. Jolly, The parallel roads of Lochaber, the problem and its various solutions, Nature, Vol. XXII. S. 68 ff. — [28] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1881. S. 9 ff. — [29] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 495 ff. — [30] Reclus, La terre, tome II., Paris 1876. S. 158 ff. — [31] Ratzel, Ueber Fjordbildungen an

Binnenseen, nebst allgemeinen Bemerkungen über die Begriffe Fjord und Fjordstrasse und die nordamerikanischen Küstenfjorde, Petermann's geogr. Mittheil., 1880. S. 387 ff. — [32] Ibid. S. 393. — [33] Ibid. S. 395 ff. — [34] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 501. — [35] Ibid. S. 503. — [36] P. Lehmann, Kritischer Exkurs über Peschel's Morphologie der Erdoberfläche, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 10. Band. S. 101. — [37] Hahn, Inselstudien, S. 152 ff. — [38] Rütimeyer, Die Bretagne; Schilderungen aus Natur und Volk, Basel 1883. — [39] Hahn. Inselstudien, S. 140 ff. — [40] Rein, Japan, 1. Band, Leipzig 1881. S. 17 ff. — [41] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 144. — [42] Penck, Schwankungen etc. S. 52 ff. — [43] Rink, On den geografiske beschaffenhed af de danske handelsdistrikter i Nord-Gronland tilligened on udsigt over Nord-Gronlands geognosi, K. Dansk. Vid. selskabs skrifter, 1852. S. 37 ff. — [44] Ratzel, Phys. Geogr. etc., S. 150. — [45] Suess, Die Entstehung der Alpen, Wien 1875. S. 92. — [46] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 513 ff. — [47] Oppel, Landschaftskunde; Versuch einer Physiognomik der gesammten Erdoberfläche, Breslau 1884. S. 35 ff. — [48] Reise im südwestlichen Patagonien von J. T. Rogers und E. Ibar 1877, Petermann's geogr. Mittheil., 1880. S. 47 ff. — [49] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 515. — [50] Ramsay, On the glacial origin of certains lakes in the Switzerland, Quart. Journal of the geol. soc. of London, 1862. S. 185 ff. — [51] De Mortillet, Carte des anciens glaciers du versant italien des Alpes, Atti della soc. Ital. delle scienze naturali, 1861. S. 44 ff. — [52] Tyndall, In den Alpen, Braunschweig 1872. S. 209 ff. — [53] A. Müller, Ueber Thalbildung durch Gletscher, Ann. d. Phys. u. Chem., 152. Band. S. 480 ff. — [54] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882. S. 368 ff. — [55] Ibid. S. 430. — [56] v. Lasaulx, Aus Irland, Bonn 1878. S. 86 ff. — [57] Quenault, Les mouvements de la mer, ses invasions sur les côtes de l'océan atlantique, Coutances 1869. — [58] Umlauft, Eine neue Theorie zur Erklärung der Fjordbildung, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 228 ff. — [59] Rittau, Die neue Theorie zur Erklärung der Fjordbildung, ibid. 5. Jahrgang. S. 282. — [60] Vogt, Nordfahrt entlang der norwegischen Küste, Frankfurt a. M. 1863. S. 403 ff. — [61] Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee, Hamburg 1883. S. 32 ff. — [62] Eilker, Die Sturmfluthen der Nordsee, Emden 1876. S. 7 ff. — [63] H. Fischer, Ueber einige Gegenstände der physischen Geographie bei Strabo, Wernigerode 1878. S. 5 ff. — [64] Francke, Die nordfriesischen Inseln vormals und jetzt, Gaea, 9. Jahrgang. S. 648. — [65] Arends, Physische Geschichte der Nordseeküste und deren Veränderungen durch Sturmfluthen, 2. Band, Emden 1825. S. 192 ff. — [66] Eilker, die Sturmfl. etc., S. 19. — [67] Ibid. S. 22. — [68] Hahn, Inselstudien. S. 139. — [69] Guthe-Wagner, Lehrbuch der Geographie, 2. Band, Hannover 1883. S. 539. — [70] Weigelt, Die nordfriesischen Inseln vormals und jetzt; eine Skizze des Landes und seiner Bewohner. Hamburg 1873. — [71] J. Girard, Considérations sur les transformations litorales. Bull. de la soc. de géogr., 1878, I. S. 452 ff. — [72] Peacock, Sinkings of land on the north and west coasts of France and southwest coasts of England, London 1868. — [73] Kohl, Reisen in Südrussland, 2. Theil, Dresden 1841. S. 63 ff. — [74] Keller, Studien über die Gestaltung von Sandküsten, Zeitschr. f. Bauwesen, 31. Band. S. 189 ff. S. 301 ff. S. 411 ff. — [75] Ueber die Bildung der Wellenfurchen im Sande, Naturforscher, 17. Jahrgang. — [76] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 288 ff. — [77] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrbuch, 9. Band, Gotha 1883. S. 28. — [78] Klunzinger, Statistisch-topographisch-ethnographische Schilderung von Kosseir, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1. Band. S. 244 ff. — [79] Dunes and moving sands, Nature, Vol. XXIII. S. 569. — [80] v. Gutbier, Die Sandformen der Dresdener Haide, Isis, 1864. S. 42 ff. — [81] Lösche, Vertheilung der Windstärke in der Windrose von Dresden, Dresden 1868. S. 10. — [82] Jentzsch, Das Quartär der Gegend von Dresden und die Bildung des Löss im Allgemeinen, Zeitschr. f. d. ges. Naturw., (2) 6. Band. S. 17. — [83] Der geologische Bau der Sahara, Gaea, 20. Jahrgang. S. 623 ff. — [84] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 483 ff. — [85] Tonender Sand, Gaea, 14. Jahrgang. S. 671 ff. — [86] Noll, Tönender Sand, ibid. 15. Jahrgang. S. 61. ff. — [87] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 485. — [88] Senft, Im Reiche des Sandes, Gaea, 15. Jahrgang. S. 83. — [89] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 489. — [90] Schumann, Geologische Wanderungen durch Altpreussen, Königsberg 1869. S. 66. — [91] P. Lehmann, Pommern's Küste von der Dievenow bis zum Darss, Breslau 1878. — [92] P. Lehmann, Das Küstengebiet

Hinterpommern's, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 19. Band. S. 374. — [93] Ibid. S. 369. — [94] Reclus, La terre, tome II. S. 253 ff. — [95] Vgl. [74]. — [96] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 493. — [97] Forchhammer, Ueber die Entstehung und Veränderung der Marschen, Falck's Staatsbürgerliches Magazin, 1. Band. — [98] Senft, Die Marschbildungen, Gaea, 16. Jahrgang. S. 13 ff. S. 79 ff. — [99] Ibid. S. 19. — [100] Ibid. S. 22. — [101] Ibid. S. 86 ff. — [102] v. Fritsch, Neuere Erfahrungen über den geognostischen Aufbau der Erdoberfläche, Wagner's geogr. Jahrb., 9. Band, Gotha 1883. S. 485. — [103] H. Fischer, Ueber einige Gegenst. etc., S. 8 ff. — [104] v. Maack, Der bernsteinführende Eridanus der Alten, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 3. Band. S. 21. — [105] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 474. — [106] Ackermann, Beiträge etc., S. 50 ff. — [107] Ibid. S. 55 ff. — [108] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 479. — [109] Kovatsch, Die Versandung von Venedig und ihre Ursachen, Leipzig 1882. — [110] Keller, Die Versandung der Lagunen von Venedig, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 220 ff. — [111] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 161 ff. — [112] Credner, Die Delta's, ihre Morphologie, geographische Verbreitung und ihre Entstehungsbedingungen, eine Studie auf dem Gebiete der physischen Erdkunde, Ergänzungsheft Nr. 56 zu Petermann's geogr. Mittheil., Gotha 1878. — [113] Ibid. S. 5. — [114] Krümmel, Recension hiezu, Gött. Gel. Anz., 1879, I. S. 203 ff. — [115] van der Wyk, Vermuthungen und Beobachtungen über die Ausmündung des Rheinstromes im Weltmeere, N. Journ. f. Min., Geogn., Geol. u. Paläont., 1838. S. 256 ff. — [116] v. Hoff, Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche, 1. Band, Gotha 1822. S. 229. — [117] Credner, Die Delta's etc., S. 8. — [118] Ibid. S. 10. — [119] Ibid. S. 12. — [120] Ibid. S. 18. — [121] Tyler, On the formation of delta's, Geol. Mag., 1872. S. 485 ff. — [122] Zöppritz, Die Fortschritte etc., S. 28. — [123] Credner, Die Delta's etc., S. 25. — [124] Ackermann, Beiträge etc., S. 75 ff. — [125] Guy de Contenson, Les inondations dans les plaines du Tien-Tsin, Bull. de la soc. de géogr., 1874. S. 1 ff. — [126] Strabonis Geographia, lib. XVII. cap. 1. — [127] Credner, Die Delta's etc., S. 31. — [128] v. Hoff, Gesch. etc., 1. Band. S. 260. — [129] H. Fischer, Ueber einige Gegenst. etc., S. 9. — [130] Credner, Die Delta's etc., S. 35. — [131] Kjerulf, Einige Chronometer der Geologie, deutsch von R. Lehmann, Berlin 1880. — [132] C. Ritter, Die Erdkunde im Verhältniss zur Natur und Geschichte, 2. Theil, 1. Band, Berlin 1832. S. 83. — [133] Credner, Die Delta's etc., S. 40. — [134] Guppy, The banks of the Yang-tzse at Hankow, Nature, Vol. XXIII. S. 50 ff. — [135] Doyle, Deltaic growth, ibid. Vol. XIX. S. 506. — [136] Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefaktenkunde, 2. Band, Braunschweig 1871. S. 105. — [137] Credner, Die Delta's etc., S. 53. — [138] Ibid. S. 59. — [139] Ibid. S. 67 ff. — [140] Ibid. S. 74. — [141] Krümmel, Recension, S. 223. — [142] Krümmel, Die Morphologie der Seehäfen, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 10. Band. S. 94 ff. — [143] Ibid. S. 96.

Kapitel III.

Charakteristik und Klassifikation der Inseln.

§. 1. Morphologische Versuche aus früherer Zeit. Die ersten Ansätze, die verschiedenen Formen der Inseln auseinanderzuhalten, finden wir vor bei Strabon, dessen Standpunkt, seiner ganzen sonstigen Betrachtungsweise gemäss, ein genetischer war; die Hochseeinseln liess er durch vulkanische Kräfte aus der Tiefe gehoben sein, von den der Küste benachbarten Inseln nahm er an, dass irgend ein Durchbruchsprocess — und mit solchen schaltete er, wie wir wissen, ziemlich unbekümmert — sie vom Festlande losgelöst habe [1]. Unser grosser Geograph Varenius macht gleichfalls Andeutungen in diesem Sinne [2], und Humboldt durfte ihm seine „Studien über Inselvertheilung“ zu

besonderem Ruhme anrechnen [3]. Dass nicht sehr lange Zeit nach dem Auftreten Varen's ein anderer Deutscher die erste Monographie der Inseln schrieb, ist selbst hervorragenden Geschichtschreibern entgangen. Es ist diese Inauguralrede, mit welcher der völker- und sprachenkundige Wülfer sein Lehramt am Gymnasium Aegydianum zu Nürnberg antrat, freilich keine systematische Arbeit im Sinne des neunzehnten Jahrhunderts, aber doch ein ernst gemeinter Versuch, sich zu einer gewissen Systematik hindurchzuringen [4]. Mit Rücksicht auf die Nachrichten der alten Schriftsteller werden alle Fluthdurchbrüche und Landtrennungen aufgezählt, über welche etwas in Erfahrung zu bringen war; der Verfasser ist offenbar ein Anhänger der Hypothese, nach welcher es früher weit ausgedehntere Kontinente gegeben habe, als heutzutage; es schwebt ihm so etwas wie Lemurien vor; „infinitas quoque alias Mexicani sinus insulas cum coeteris majoribus Cuba, Jamaica etc. unam continentem olim constituisse, ex antiquissima incolarum illorum traditione constat" [5]. Nach einer Beschreibung der bekannteren Inseln wendet sich Wülfer zu den schwimmenden und zu den vulkanischen Inseln (insulae natantes, insulae ignivomae). Man sieht, dass, wenn man die Schrulle mit den schwimmenden Inseln*) als selbstständiger Spezies ausnimmt, Strabon's Charakteristik auch hier noch durchschimmert. Zum Schlusse wendet sich Wülfer noch gegen die Annahme gewisser mythischer Inseln, wie derjenigen des heiligen Brandan, die auf Martin Behaim's „Erdapfel" ihre Stelle fand, und derjenigen eines Inselarchipels „Frislandia", den die Geographen des XVI. Jahrhunderts zwischen Schottland und Island eingelagert sein liessen [12].

Während also bis vor etwa 100 Jahren genetisch-geologische

---

*) Diese schwimmenden Inseln sind eigentlich auf Binnengewässern daheim, und nur alte Vorurtheile verschuldeten das Aufführen derselben auch unter den Meeresinseln. Seitdem Anno 1711 ein gewisser Munz in einer Dissertation [6] Alles, was man damals von schwimmenden Inseln zu wissen glaubte, zusammengefasst hatte, scheint man dieselben ganz aus den Augen verloren zu haben, und nur Muncke hat einige Lesefrüchte aus jener Arbeit in seinen Lexikon-Artikel „Sumpf" aufgenommen [7]. „Insulae natantes sunt" — nach Munz — „in lacubus terrestres, ex varia levioris et viscosae materiae miscella aggestae, portiones, quae a vento hinc inde agitatae, nullo loco firmae fixaeque sunt." Seneca, Plinius und Macrobius erwähnten dergleichen treibender Massen öfter, und nach Pomponius Mela habe es bei'm Ausflusse der Garonne eine solche Insel gegeben. Nicht minder sei die Cykladeninsel Delos von den Alten als schwimmend bezeichnet worden; Munz wagt nicht, diese Behauptung geradezu zu bestreiten, sondern meint, man könne ja zur Erklärung sich auf die submarinen Vulkanausbrüche von Santorin beziehen. Eine Schwimminsel, deren Herodot gedenkt, soll sogar Gebaude getragen haben. Zuverlässiger ist die Nachricht vom „Schwimmbruch" bei Gerdauen in Ostpreussen [8]. Was die „Aetiologia" angeht, so könne man mit Kircher und Sponius an eine „pinguis materia" denken, die vom Grunde aufsteige und sich dann mit Pflanzen bedecke, oder auch an „pumex", der auf dem Boden wachse und durch einen Erdstoss von diesem abgelöst werde [9]. Die schwimmenden Inseln der chinesischen Binnenseen annektirt Munz ganz mit Unrecht für seine Zwecke, denn diese, die wir durch die Beschreibung [10] von Huc und Gabet sehr gut kennen, sind ausschliesslich Menschenwerk, Bambusgeflechte mit einer dichten Lage von Ackererde bedeckt, und zwar nationalökonomisch, nicht aber geophysikalisch von Interesse. Kant, der noch einige nicht sehr fest beglaubigte Beispiele von schwimmenden Inseln anführt, möchte dieselben übrigens dem Meere noch nicht gänzlich absprechen [11].

Kennzeichen als die einzigen galten, auf welche man sich behufs wissenschaftlicher Eintheilung der verschiedenen Inselformen zu verlassen habe, ward später auch ein anderer Gesichtspunkt durch den bekannten Begründer der Thiergeographie, A. W. Zimmermann, in die Untersuchung hineingetragen [13]. Da kein Geringerer, als Peschel, für die fast ausschliessende Berechtigung gerade dieses Gesichtspunktes eingetreten ist, so haben wir uns mit demselben im nächsten Paragraphen durch eine besondere Auseinandersetzung abzufinden.

§. 2. **Das biologische Klassifikationsprincip.** Mit der an ihm gewohnten Feinsinnigkeit führt Peschel in den „Ueber den Ursprung der Inseln" [14] und „Die Thier- und Pflanzenwelt der Inseln" [15] betitelten Abschnitten seines Hauptwerkes die jenem Principe zu Grunde liegenden Gedanken aus. Man kann deren Inhalt kurz so bezeichnen: Begegnet man auf einer Insel einer Organismenwelt von völlig selbstständigem Charakter, so liegt es nahe, der ersteren auch eine marine Entstehung zuzuschreiben, weisen dagegen die Organismen verwandtschaftliche Züge mit denjenigen eines mehr oder minder benachbarten Festlandes auf, so ist an einen früheren Zusammenhang der Insel mit dem Festlande zu denken. Die grossartigen Fortschritte, welche zoogeographisches Wissen und zoogeographische Methode gerade in der jüngsten Zeit gemacht hatten, mussten für Peschel einen starken Anreiz bieten; war es doch Wallace auf diesem Wege geglückt [16], das rein geographische Problem der Auffindung einer richtigen Scheidegrenze zwischen den Erdtheilen Asien und Australien zu lösen und zu zeigen, dass alle Thiere, merkwürdigerweise sogar die leichtbeschwingtesten nicht ausgenommen, links von der zwischen Bali und Lombok, zwischen Borneo und Celebes sich hindurchziehenden Linie den asiatischen, rechts davon den australischen Typus an sich tragen. Manch' hübscher Fund ist sicher bei Anwendung dieser Methode gemacht worden, so z. B. der, dass die Insel Anticosti noch in der silurischen Zeit, vor dem Auftreten der dort ganz fehlenden Batrachier, von dem canadischen Festlande abgetrennt worden sein muss [17]. Junge Inseln, wie wir deren in den Atollen der Südsee kennen zu lernen haben werden, können nicht wohl andere Thiere beherbergen, als solche, die durch menschlichen Import — man denke an die für die Máoriratte so verderbenbringend gewesene Einschleppung der englischen Ratte nach Neuseeland — oder durch die Meeresströmungen ihren Weg nach solch' entlegenen Eilanden gefunden haben. Peschel berichtet von sehr belehrenden Ereignissen dieser Art. Was für die Thiere, gilt bis zu einem gewissen Grade auch für die Pflanzen; St. Helena erinnert in seinem Pflanzenkleide mehr an die Kapgegend, als an näherliegende Theile Afrika's, allein ein Blick auf die Wind- und Strömungskarten beweist uns, dass dem so sein muss [18]. Kleine Meerinseln, die vom Festlande abgelöst wurden, bekommen in Kürze eine an Varietäten arme organische Bevölkerung; grosse, wie Island, können ihren Bewohnern mehr Zufluchtsstätten bieten und bewahren sich so einen grösseren Artenreichthum [19]. Von Peschel's Klassifikation wird nachher zu sprechen sein; für jetzt erhebt sich die Frage, ob sein Verfahren, dessen hodegetischen Werth ihm wohl Niemand zu verkümmern

geneigt sein wird, nicht blos als ein in seiner Art gewiss nothwendiges, sondern auch als ein hinreichendes anzuerkennen ist.

Bedenken hiegegen, mit denen wir selbst vollständig übereinstimmen, formulirt die für die Inselkunde als ein treffliches Lehr- und Hülfsmittel anzuerkennende Schrift von Hahn [20]. Man hat, so legt dieselbe dar, keinerlei Garantie dafür, dass nicht Thierarten in einer für uns unkontrolirbaren Weise an die Küsten fremder Länder verschlagen wurden; wir möchten hinzufügen, dass man recht oft auch von der Pflanzen- und Thierbevölkerung einer bestimmten Insel zu wenig Bescheid weiss, um auf das Vorherrschen oder Fehlen gewisser Arten weittragende Schlüsse zu gründen. Dass die botanisch-zoologische Schlussweise mit begründeteren Ergebnissen der physischen Erdkunde in argen Konflikt kommen kann, dafür ist uns ein redender Zeuge der Sclater-Peschel'sche Kontinent Lemuria. Die Lemurinen, oder so ziemlich alle Halbaffen, haben ihren Wohnsitz in Ceylon und Madagaskar, mithin folgerte man [21]: „Im indischen Ocean, also im Süden und Osten der alten Welt, muss ehedem ein grösseres Festland gelegen haben, das sogenannte Lemuria oder die Heimath der Halbaffen. Zu ihm gehörten Madagaskar, die granitischen, jetzt sinkenden Seychellen, die Malediven, Ceylon, ja, es mag sich vielleicht bis zu den Killing-Inseln oder noch weiter östlich erstreckt haben.“ Die mit Recht grosse Autorität eines Peschel verhalf dem tertiären Kontinente Lemurien rasch zu einer Art von Bürgerrecht; die platonische Insel Atlantis (Band I, S. 3), die auch der ritterliche Dichter Rudolf v. Hohenems dem „buochmaister Plâtô“ entnommen hatte [22], war wieder erstanden. Nachdem aber die Tiefenmessungen den nüchternen Nachweis ergeben hatten, dass gerade an diesen Stellen der indische Ocean seine grössten Tiefen hat, war, wie besonders bestimmt von Krümmel hervorgehoben ist [23], die Hypothese von einem versunkenen indo-afrikanischen Welttheile sofort beseitigt (vgl. übrigens Abth. VIII, Kap. V. §. 4). Gleichwohl verdient Peschel's Klassifikation, bei deren Aufstellung ja nicht blos biologische, sondern auch geologische Momente mitwirkten, vollste Beachtung, und diese werden wir ihr auch im nächsten Paragraphen angedeihen lassen.

§. 3. **Die genetischen Inselsysteme der neueren Zeit.** Einen durchschlagenden Grund gegen die Peschel'sche Methode hat v. Richthofen geltend gemacht [24]: Die physikalische Erdkunde habe in erster Linie von der Pflanzenbekleidung und Bewohnerschaft der Erdoberfläche abzusehen und sich lediglich an die anorganische Natur zu halten. Die Dinge liegen hier offenbar ebenso, wie sie (s. S. 235) bei der Definition des Wortes „Klima“ gelagert waren. Wir nahmen damals Rücksicht darauf, dass die Erde auch dann noch verschiedene klimatische Verhältnisse darbieten würde, wenn gar keine Menschen auf ihr lebten, und ebenso haben wir nunmehr dessen eingedenk zu bleiben, dass der Charakter der verschiedenen Inselformen auch dann noch ein verschiedener bleiben würde, wenn sie sämmtlich und mit Einem Schlage sämmtlicher ihnen angehöriger Bewohner verlustig giengen. Der geophysikalische Gesichtspunkt muss voll und ganz in seine Rechte eingesetzt werden.

Eine allseitig befriedigende Umschreibung des Wortes „Insel“

giebt es nicht*). Wir behelfen uns bei der Definition deshalb mit den von strengen Logikern verpönten negativen Merkmalen und setzen fest: Insel ist jeder beliebig grosse, ganz von Wasser umschlossene Landbezirk, der nicht mit der alten Welt (Europa, Asien, Afrika) oder mit der neuen Welt (Nord- und Südamerika) oder mit der Kontinentalinsel Australien in beständig trockener Verbindung steht. Diese Bestimmung hat wenigstens den Vortheil, nicht missverständlich zu sein.

Ein Inselsystem, das auf biologische Merkmale verzichtet, kann nun ein morphographisches oder ein genetisches sein. Eine Diskrepanz von tiefgehender Natur waltet zwischen diesen beiden Systemgattungen nicht vor. Denn, wie sich gleich zeigen wird, spricht sich eben gewöhnlich die Verschiedenheit der Entstehung auch schon in der äusseren Gestalt aus, und auch jene Autoren, welche auf diese letzteren besonderes Gewicht legten, hatten doch auch die physikalischen Ursachen, durch welche die fragliche Gestalt bedingt erscheint, mit im Auge. Wir werden jetzt die Forscher, welche sich um diesen Zweig der physischen Erdkunde verdient machten, in chronologischer Ordnung aufführen und mit jedem Namen eine gedrängte Skizzirung des an ihn sich knüpfenden Inselsystemes verbinden.

a) **Forster.** Die Höhenverhältnisse und — in zweiter Linie — der geologische Bau sind für den Weltumsegler maassgebend. Er stellt in seinem Essay „Von der Enstehung der Inseln“ [29] einerseits tropische und ektropische, andererseits hohe und niedrige Inseln einander gegenüber. Rittau's Analyse [30] führt zu dem Schlusse, dass Forster als besondere Glieder seines Systemes Koralleninseln, vulkanisch gehobene Inseln und Festlandbruchstücke angenommen habe. Ein anderer weitgereister Naturforscher, A. v. Chamisso, trat im Wesentlichen derselben Auffassung bei [31].

b) **Buffon.** Der mit genialem Blicke begabte Naturhistoriker unterscheidet [32] die Inseln des offenen Meeres von den der Küste benachbarten. Erstere sind stets plutonischen Ursprunges, letztere können auch durch Hebung, nicht minder durch Aufschüttung und endlich durch Lostrennung vom Festlandkörper das geworden sein, was sie heute sind.

c) **v. Buch.** Die langgestreckten und runden Inseln, welche als Gegensätze figuriren [33], sind zugleich geologische Typen. Erstere tragen mehr den festländischen, letztere mehr den rein marinen Charakter; langgestreckt ist zumal die „westaustralische Kette“.

d) **Fr. Hoffmann.** Auf den Schultern des Vorgenannten stehend, unterscheidet Hoffmann [34] bestimmt Kontinental- und pelagische Inseln. Die pelagischen können Korallenbauten sein, dann sind

*) Nachdem Kant [25] in fast spöttischer Weise die Zulässigkeit einer genügenden Begriffsbestimmung verneint hatte, betonten H. Wagner [26] den klimatologischen und Ratzel [27] den anthropogeographischen Standpunkt. Insel ist nach Ersterem ein Festlandtheil, der auch in seinem Herzen noch die klimatischen Einflüsse des Meeres erkennen lässt; Hahn meint [28], dann würde man vielleicht auch Madagaskar den Kontinenten beigesellen müssen. Gegen Ratzel's an sich untadelhafte und für den Historiker gewiss sehr werthvolle Auffassung des Kontinentes als eines durchaus selbstständigen kulturgeographischen Individuums richtet sich aber v. Richthofen's Einwendung (s. o.).

sie niedrig, sie können aber auch durch Revolutionen des Erdinneren sich gebildet haben, dann sind sie hoch. Diess ist im Grossen und Ganzen Peschel's Standpunkt, und es mag wunder nehmen, dass Jener von seinem Vorläufer so gar nichts gewusst hat, da doch die Hoffmann'sche Dichotomie auch von den Kompendiographen gerne adoptirt ward. Erst neuerdings wurde der geschichtliche Sachverhalt durch v. Richthofen vollständig klar gestellt [35]*).

e) **Peschel.** Es giebt Inseln, die niemals Festland waren, und Bruchstücke früherer Festlande [37]. In die erste Kategorie gehören die Atolle des Pacifik und des indischen Meeres, die jungen vulkanischen Inseln (nördliche Gruppe der Marianen, St. Paul, Neu-Amsterdam) und die alten Inselvulkane (Ascension, St. Helena, Bourbon, Mauritius, die Galápagos)**). Der zweiten Kategorie sind zuzurechnen die frisch abgetrennten Inseln (Sumatra, Java, Formosa, Tasmanien, Grossbritannien)***), die alten Kontinentalinseln, welche sich schon in geologischer Vorzeit abtrennten (Antillen, Neu-Guinea) und die zusammengeschrumpften Weltinseln (Madagaskar, Neu-Seeland). Die Sonderstellung der alten Inselvulkane hat eine bedenkliche Seite.

f) **Wallace.** Von den nämlichen Ueberlegungen ist das System des englischen Zoologen beherrscht. Die jüngeren Kontinentalinseln sind auf seichten Bänken gelegen und allenthalben von wenig tiefen Meeren umgeben; die älteren Kontinentalinseln sind tiefer aus dem Meere herausgehoben, erinnern aber an das Festland noch durch zahlreiche verwandtschaftlich-gemeinsame Züge; die Oceaninseln sind weit vom nächsten Festlande entfernt und rings von tiefen Abstürzen des Meeres umschlossen [40].

g) **Ratzel.** Wie zu erwarten, steht bei diesem Vertreter der um den Menschen als Mittelpunkt sich gruppirenden Erdkunde das physikalisch-genetische Princip mehr zurück. Die Inseln sind theils selbstständige — mit den Kontinenten auf gleicher kultureller Stufe stehende — theils unselbstständige Landkomplexe†) [41].

---

*) Die Hoffmann'sche Terninologie wiederholt sich wörtlich bei Kapp [36].

**) Von den vulkanischen Inseln ist bereits im ersten Bande, gelegentlich der dort mitgetheilten Vulkan-Statistik, das Nöthigste gesagt worden. Für einige Inseln des griechischen Archipelagus ist die vulkanische Abkunft durch Gorceix sehr wahrscheinlich gemacht worden [38], besonders für Kos und Nisyros. Von Jan Mayen, dessen Vulkancharakter uns allerdings bereits bekannt ist (Band I, S. 340), sagt Mohn [39], es könne weder mit Europa (Island), noch mit Spitzbergen und Grönland irgendwann einmal eine feste Verbindung gehabt haben; allenthalben isolirt, steige es als ein Produkt vulkanischer Aktion aus tiefen Meeres-Abgründen empor.

***) Die nähere Bildungsgeschichte dieser Art Inseln ist die denkbar mannigfaltigste. Es können Sturmfluthen die Trennung herbeigeführt haben, es kann aber auch eine Landsenkung der massgebende Grund gewesen sein. Auch die Aufschüttungsinseln müssen wohl, da sie sonst nicht leicht einen Platz finden, hier untergebracht werden.

†) Die weiteren Unterabtheilungen sind rein morphographischer Natur. In unmittelbarster Nähe vom Festlande sind die unselbstständigen Landmassen Küsteninseln (Euböa), dann kommen etwas weiter draussen die nahen Inseln (Hainan, Formosa), die Inseln der Binnen- und Mittelmeere bilden eine dritte Serie (Dänemark), und den vierten Platz erhalten die strenge zusammengehörigen Gruppeninseln mit dem Prototyp des Tahiti-Archipelagus.

h) **A. Kirchhoff.** Eine feinsinnige Kritik leitet über zu den eigenen Aufstellungen Kirchhoff's, die sich selbst als eine Weiterbildung derjenigen von Peschel und Wallace einführen [42]. Das neue Tableau ist dieses: I. Festländische Inseln; a. Abgliederungsinseln, b. Restinseln; II. ursprüngliche Inseln; a. submarin entstandene vulkanische Inseln, b. Aufschüttungsinseln, c. nichtvulkanische Hebungsinseln. Bezüglich der letzteren wird bemerkt, es wäre nicht unmöglich, dass sie, die vorher hochgelegene Stellen eines seichten Meeres waren, bei schwindender Lokalattraktion des Festlandes über dem Meeresspiegel zum Vorschein kämen.

i) **Hahn.** Die „Inselstudien", denen wir in dieser Abtheilung bereits viel werthvolles Material zu entnehmen hatten, enthalten auch eine neue und sorgfältige Klassifikation des Autors [43]. Indem derselbe die bathometrischen Verhältnisse aller Weltmeere der Vergleichung unterzieht, ermittelt er, dass an drei Stellen eine ausgesprochene Neigung zur Bildung tiefer, gar nicht oder nur in beschränkter Weise mit dem freien Ocean oder mit Nachbarmeeren kommunicirender Becken vorwaltet: im romanischen Mittelmeere, in den Mittel- und Randmeeren Ostasiens und im amerikanischen Mittelmeere. Die Inseln sind hoch, besitzen unabhängige Gebirgssysteme und zeichnen sich durch Halbinselreichthum aus. Es wird für sie, bei deren Hervorbringung vielfach seismische und vulkanische Kräfte thätig waren, der Sammelname tektonische Inseln in Vorschlag gebracht. „Bei den tektonischen Inseln ist immer der Einfluss, welchen die Bewegungen und Faltenbildungen der Erdrinde ausübten, der überwiegende, die verschiedenen Arten der Erosion wirken erst sekundär" [44]. Hierher rechnet Hahn die den Nordpol umgebenden Inseln, Novaja Semlja, Waigatsch, das wohl weniger durch die Meeresströmungen als durch eine Längsfalte von Afrika losgelöste Madagaskar, nicht jedoch Ceylon. Die tektonischen Inseln werden, wie folgt, nach sieben Unterabtheilungen gegliedert [45]*). Als zweite Hauptkategorie stellt sich neben dieselben diejenige der Erosionsinseln [46], wobei dieses Wort in seinem denkbarst umfassenden Sinne gebraucht wird**), und zur dritten endlich gehören die Aufschüttungs-, resp. Anschwemmungs-

*) I. Inseln, die Trümmer alter Vulkangebäude, selbst aber kraterlos sind (St. Paul, Fernando da Noroñha, Salas y Gomez); II. halbmondförmige Inseln, die aus einem einzigen, vom Meere schon theilweise ausgefüllten Vulkan bestehen (Deception Island im antarktischen Meere); III. kegelförmige Inseln, deren wesentlicher Bestandtheil ein wohl erhaltener Vulkan ist (Ascension, Rangitoto); IV. Inseln mit mehr als einem Hauptberge, deshalb schon mehr langgestreckt, als gerundet (Savaii und Upolu); V. Inseln, die überwiegend mit vulkanischen Inseln bedeckt sind (die Canarien, Santorin); VI. Inseln mit vulkanischen, in geringerer Stärke auftretenden Kennzeichen (Sicilien, Sardinien, Neu-Seeland); VII. Inseln von rein geodynamischem Ursprung (Corsica, die meisten Cykladen, die Balearen, die unvulkanischen Inseln des westindischen und des Sunda-Meeres).

**) I. Norwegischer Typus, Festlandstrümmer, geringe Grösse, Auftreten in Schwärmen; II. schwedischer Typus, Bruchstücke eines niedrigeren Tafellandes, auch für Finnland und theilweise die Hudsons-Bay massgebend; III. gotländischer Typus, Fragmente eines Hügellandes mit geringen Erhebungen (Gotland, Oesel, Dagoe, Bornholm — ob auch Anticosti [s. o. §. 2]?); IV. dänischer Typus, Ueberbleibsel eines leichtwelligen oder ganz ebenen Landes, recenten geologischen Formationen angehörig; V. britischer Typus, durch Brandung und Wellenstoss abgegliederte Stücke eines Festlandes, mit welchem sie früher durch einen schmalen Isthmus verbunden gewesen waren.

inseln, das Resultat unausgesetzter Sedimentbildung [47]. Unter letzteren werden natürlich am häufigsten die minerogenen sein, welche wieder in zwei deutlich gesonderte Unterarten zerfallen*), es giebt jedoch auch phytogene und zoogene Aufschüttungsinseln. — Zumal mit der Bildung dieser dritten Hauptgruppe hat Hahn, wie uns scheinen will, einen sehr glücklichen Griff gethan. Erstens treten jetzt die Koralleneilande, die bei den älteren Systematikern den vulkanischen und Relikteninseln ganz koordinirt sind, bescheiden auf als das, was sie wirklich sind, als eine Spezialität der zoogenen Inseln, und zweitens kann jetzt leicht gewissen Inselformen ihr Platz im Systeme zugewiesen werden, die vordem ziemlich obdachlos waren**).

k) **Supan.** Dieser Gelehrte tadelt an Hahn's Eintheilungsmodus eine Einseitigkeit, deren Charakter er jedoch nicht näher angiebt; auch meint er, es sei die Rolle der Erosion bei der Inselbildung überschätzt worden [53]. Da ausdrücklich eine ganze Anzahl der verschiedenartigsten Processe der Erosion subsumirt worden sind, so vermögen wir uns dieses Bedenken nicht anzueignen. Supan selbst stellt, ganz im Sinne Kirchhoff's festländische und ursprüngliche Meeresinseln einander gegenüber [54].

Wir überlassen es dem Leser, sich an der Hand unserer wesentlich referirenden Darstellung für das eine oder andere System zu entscheiden. Was uns selbst für die Hahn'sche Charakteristik der Inseln besonders günstig stimmt, deuteten wir oben bereits an.

§. 4. **Bau der Korallenriffe.** So ziemlich von all' den Kräften geodynamischer oder erosiver Art, die wir bei der Schaffung genetischer Inselsysteme in Frage kommen sahen, ist in diesem Buche bereits die Rede gewesen, und wir brauchen deshalb auf sie nicht mehr besonders

*) I. Inseln, welche wesentlich durch Meeresbewegung entstanden (Inseln vor der Bay von Mobile, Sandy-Inseln vor der Mündung des Jukon, in ferner Zukunft vielleicht die Steingründe der Ostsee); II. Aufschüttungsinseln in der Nähe eigentlicher Vulkaninseln (Insel Brescou an der Küste von Languedoc ist ein isolirter Lavablock, unweit Santorin's traten 1866 kleine Inseln aus reiner Lavamasse aus dem Meere hervor).

**) Hierher gehören z. B. die Inseln an der Südküste Istrien's, Sandkonglomerate, welche Stache und Marchesetti auf Deltabildungen eines grossen, langsam fliessenden und zu Ueberschwemmungen geneigten Flusses zurückführen, der jene Ansammlungen als letzte Andeutung einstiger Wirksamkeit zurückgelassen habe [48]. Die phytogenen Inseln endlich, Pflanzenbarren grossen Maasstabes, sind für die tropischen Meere vielfach charakteristisch, wenn auch selten ganz rein ausgeprägt. Da, wo der Kuilu in's Meer austritt, finden sich z. B. Eilande, die nach Pechuël-Lösche sowohl den mit den Jahreszeiten periodisch wechselnden Hoch- und Niedrigwassern, als auch dem Gezeitenstrome und der üppigen Vegetation ihr Dasein verdanken [49]. Bei'm Entstehen der „Everglades“ in Florida haben Korallen die Hauptarbeit gethan, allein die unerlässliche Befestigung des Grundes ward nach Ratzel [50], der auf diese Art der Inselbildung zuerst mit Nachdruck hinwies, von dem Wurzelgeflechte der Manglebäume besorgt, deren Früchte ins Wasser fallen, dort im Schlamme Wurzeln schlagen und dann solange Seetang und Treibholz auffangen, bis das Gerüste einer Insel oder Halbinsel fertig dasteht. Auch für das Sunda-Meer bezeugt v. Lehnert [51], dass sich der Mangle- (oder Mangrove-)Sumpf als ein erstes Stadium der beginnenden Landbildung qualificiren lasse. „Noch einer anderen Pflanze fällt die Vermittelung der Landbildung zu, und zwar der stammlosen Nipa-Palme, die vornehmlich die Ufer einsäumt und sowohl im Fluss- als auch im Seewasser gedeiht. Ihr dichtes, wenn gleich nicht ausgedehntes Wurzelwerk ist vorzüglich geeignet, alle Anschwemmungsstoffe festzuhalten“ [52].

einzugehen. Ganz ein anderes ist es mit den von den Korallenthieren erbauten Inseln und Riffen; von ihnen zu sprechen, bot sich uns noch gar keine Veranlassung, und doch gehört die Betrachtung dieser merkwürdigen Gebilde zu den interessantesten Kapiteln der physischen Geographie.

J. R. Forster erstaunte, als er mit Cook tief in das Innere bisher unbekannter Meeresräume eindrang und daselbst zahlreich gewisse niedrige Inseln antraf, wie sie ihm bis dahin ebensowenig vorgekommen waren, wie vor ihm anderen Reisenden. Mit dem ihn auszeichnenden Scharfblick erkannte er diese Inselchen sofort als Korallenbauten. „Das Riff," diess sind seine Worte [55], „wird von den Lithophytenwürmern bis auf eine geringe Distanz von der Oberfläche des Meeres auferbaut. Die Wellen spülen nach und nach allerhand Muscheln, Tang, Korallenstücke, Sand u. dgl. auf diese neu erbaute Mauer, welche, durch all' diese Zusätze erhöht, zuletzt aus dem Wasser hervorsteigt." Auch sonst enthalten Forster's Bemerkungen über die Beschaffenheit dieser zoogenen Eilande des Zutreffenden viel; dass seine Bezeichnungsweise nicht allen Erscheinungen ganz gerecht wird, kann nicht verwundern, wenn man erwägt, dass auch gegenwärtig noch unsere Terminologie der Korallenbauten eine schwankende ist.

Die riffbildenden Korallen, welche in eine Unzahl von Ab- und Unterarten zerfallen, sind sämmtlich gallertartige Zellen, aus welchen eine Kalksubstanz ausgeschieden wird. Jede Familie bildet mit lebenden wie abgestorbenen Gliedern zusammen einen festen Stock, und dieser vergrössert sich durch Knospung. Ihre geographische Verbreitung ist erheblich eingeschränkt durch die Existenzbedingungen der Thiere, von denen wir gleich nachher mehr mitzutheilen haben werden; sie gedeihen blos in den Tropenmeeren, fern von allen Kaltwasserströmungen, doch auch da nicht überall, wo man sie nach der Analogie ähnlicher Oertlichkeit erwarten sollte. Auch hat man Saum- oder Küstenriffe und selbstständige Inselriffe zu unterscheiden; Manche stellen den letzteren, den eigentlichen Koralleninseln oder Atollen, noch als besondere Form die Wall-, Barrière- oder Dammriffe zur Seite, welche sich langgestreckt, aber in ziemlicher Entfernung von der Küste, der letzteren vorlagern [56]. Namentlich gilt diess für das 1770 km lange Wallriff an der Nordostküste Australien's, aber auch die Atolle sind vielfach von solchen Gürteln umgeben. Die seichten Oeffnungen der runden Dammriffe hatte bereits Forster (a. a. O.) wahrgenommen; von ihm rührt auch das Wort Lagune für den ruhigen See her, den das Riff umschliesst, und aus dem häufig keinere, selbst wieder Salzwasserteiche tragende Inselchen emportauchen. Für einige weitere morphographische Bemerkungen wird weiter unten, bei den theoretischen Erörterungen, der richtige Platz sein*). — Der atlantische Ocean besitzt kein einziges Wallriff und nur Ein Atoll, die Bermudas. „Häufiger sind sie im indischen Ocean, wo die drei grossen Atollgruppen, die Lakkediven, die Malediven und der Chagos-Archipel eine meridionale Kette bilden. Ihre eigentliche Heimath ist aber die Südsee. Die grössten Anhäufungen von Korallen-

*) Nur der arabische Naturforscher Albirunî im XI. und der Seefahrer Pyrard im XVII. Jahrhundert scheinen das abweichende Aussehen der Koralleninseln herausgefühlt zu haben.

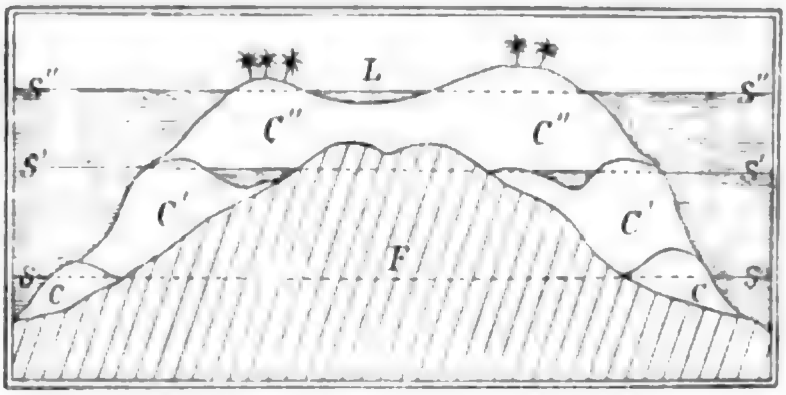
inseln sind hier der Karolinen-, Marshall-, Gilbert-, Elice- und Paumotu-Archipel, aber obwohl jede dieser Gruppen aus tausenden von Eilanden besteht, so ist doch keine grösser, als eines der kleinen thüringischen Fürstenthümer“ [57]*).

Nachdem durch die Arbeiten eines Forster, v. Chamisso, La Beche u. A. das Interesse der Geographen und Geologen den Korallenbauten in erhöhtem Maasse zugewandt war, unternahm es Darwin, dem die von ihm mitgemachte Weltumsegelung des „Beagle“ (Kapitän Fitzroy) zu einer auf gründlichster Autopsie beruhenden Kenntniss der Riffarchitektonik verholfen hatte, alle Einzelheiten derselben durch eine geistvolle Theorie aufzuklären. Seine bezügliche Schrift [60] machte ein grosses und berechtigtes Aufsehen; späterhin ward sie auch in's Französische übertragen [61]; eine deutsche Bearbeitung erschien 1876 in Stuttgart. Als das Muster, an dessen Beschauung sich die theoretischen Ansichten Darwin's heranbildeten, sind die Keeling-Inseln im indischen Meere (12° 5′ lat. austr., 99° 55′ ö. L. von Greenwich) zu nennen. Ein Korallengebäude ist, wie schon v. Chamisso (s. o. §. 3) bemerkt hatte, an eine Zone von gewissen Tiefengrenzen gebunden, innerhalb deren die Polypen allein leben können, ferner ist die Höhe der Inseln bestimmt durch die Höhe der das anorganische Baumaterial herbeitragenden Meereswogen. Annähernd gleichmässige, temperirte Wärme des Wassers und ein gewisser, nicht zu geringer Salzgehalt (s. o.) sind weitere unerlässliche Vorbedingungen. Endlich ist nach Darwin das Entstehen eines Riffes gebunden an ein langsames Sinken des Meeresgrundes. Diess alles vorausgesetzt, geht der Process nach Maassgabe unserer Fig. 91 vor sich. SS, S′S′ und S″S″ repräsentiren den Meeresspiegel — der als in positiver Bewegung begriffen gedacht wird — zu drei verschiedenen Zeiten. Der einen submarinen Hügel darstellende Meeresgrund F ward von den riffbildenden Ansiedlern zur Anlegung des Strandriffes C benützt, dann sank F, das Wasser erhob sich bis zu der Linie S′S′, und nun hatten die Polypen freien Spielraum zur Entfaltung ihrer Thätigkeit; natürlich ward diese am intensivsten an den Rändern ausgeübt, diese verstärkten sich, und die von ihnen, dem Dammriff, eingeschlossene Lagune nahm an Tiefe und Ausdehnung zu. Als die äusserste Spitze von F gerade unter den Wasserspiegel gesunken war, waren die Korallenbauten auch bis an diesen fortgeführt, und ebenso

*) In der geologischen Vorzeit waren freilich die Verbreitungsverhältnisse der Korallenpolypen ganz andere. Von vielen hiefür maassgebenden Beispielen seien nur zwei angeführt. Dupont beschreibt ausführlich die riffbildenden Organismen des belgischen Devon-Gebietes [58], die hauptsächlich Stromatoporen, dann aber auch wirkliche Korallen waren, und zwar bildeten diese letzteren sowohl Saumriffe, als auch wirkliche Atolle. Mitten in Deutschland hat Liebe [59] ein altes, aus der Zechsteinperiode stammendes Korallenriff aufgefunden, welches im Thale der thüringischen Orla dahinstreicht. Allerdings sind es nicht die Korallenbildner der Südsee, welche diese Hügelkette aufgethürmt haben, und in Folge dessen sind auch die von ihnen erbauten Gerüste minder kompakt und derb. Man hat es hier vielmehr mit sogenannten Mooskorallenthierchen (Bryozoen) zu thun, welche aus Horn- und Kalksubstanz weit zierlichere Bauten herstellen, als es ihre oceanischen Vettern thun. Die mittlere Zechsteinzeit schnitt, weil damals das Wasser salziger zu werden begann, die Thätigkeit der Thierchen rasch ab, wie die scharfe Grenze heute noch beweist.

haben wir uns zu denken, dass dieselben durch die Ausscheidungen der Thiere schliesslich sich bis zum augenblicklichen Meeresniveau S″S″ erhoben. In freier Luft hört jene Sekretion aus physiologischen Gründen auf, allein Muscheln und Meeresalgen, die sich ansetzten, brachten doch schliesslich eine runde, über die See sich erhebende und ganz flache Bank zuwege, auf welcher, als die Meeresströmungen triebfähige Keime herzugetragen hatten, nach und nach auch eine gewisse Vegetation gedeihen mochte. C ist in unserer Zeichnung das embryonale Küstenriff, C′ das Dammriff, C″ das fertige Atoll mit der Lagune L*), und wer sich also bedingungslos auf Darwin's Standpunkt stellt, kann

Fig. 91.



mit Fug, wie es Rittau thut [62], alle verschiedenen Gestaltungen des Korallenriffes als Entwickelungsphasen eines unter sonst gleichen Umständen überall gleich verlaufenden Processes betrachten. Forscher ersten Ranges, wie v. Hochstetter [63], Reclus [64], Boccardo [65], Stoppani [66] und Malfatti [67]**), schlossen sich denn auch an Darwin und an seine Erklärung der Riffgenese an.

Die ersten Zweifel äusserte wohl A. Agassiz auf Grund seiner von ihm und seinem Sohne eingehend gemachten Studien über die Florida-Bänke [69], deren Terrain nicht zur Senkung, wohl aber zur Hebung und Landbrückenbildung eine entschiedene Tendenz verrieth. Le Conte knüpfte an Agassiz an [70]; der mit bekannter Intensität (Kap. V, §. 3 der vorigen Abtheilung) sich zwischen Florida und Cuba hindurchzwängende Meeresstrom lässt ihm zufolge Sedimente in genügender Menge fallen, dass dadurch der Meeresboden erhöht und für die Niederlassung der Korallenthiere vorbereitet werden konnte. Dana, der als Theilnehmer der Expedition Wilke's auch über eine reiche Erfahrung verfügte, bekämpfte wesentlich blos den von den Küstenriffen handelnden Theil der Darwin'schen Ansichten [71]***). Eine grössere Gefahr erwuchs den letzteren, als Rein, der bei längerem Aufenthalte auf den Bermudas-Inseln nur mit negativem Erfolge sich bemüht hatte,

---

*) Wir unterliessen es, die üblichen Atollbilder unserem Texte einzuverleiben, und zwar aus dem Grunde, weil einer der gründlichsten Kenner Polynesien's dem Verfasser versicherte, dass diese Bilder sämmtlich einen falschen Begriff von der Wirklichkeit gäben.

**) Unsere Bekanntschaft mit den italienischen Autoren ward durch den auch sonst für die Lehre von den Koralleninseln wichtigen Essay [68] Marinelli's (Band I, S. 27) vermittelt.

***) Von hier ab ward mehrfach ein namentlich an geschichtlich-literarischem Materiale reicher Artikel [72] der Zeitschrift „Kosmos" zu Rathe gezogen.

die Identität dieser unbezweifelten Korallenbildung mit einem Darwinschen Atoll zu erkennen, mit seinen wohlbegründeten Zweifeln hervortrat [73]; freilich blieb diese Publikation zunächst noch Vielen unbekannt, und manche darin enthaltene Thatsache ward den Interessenten erst von anderer Seite zugeführt. Zunächst ergieng es Semper im Pelew-Archipel ganz ähnlich, wie es Rein bezüglich des atlantischen Riffes ergangen war [74]. Er konstatirte, dass dort auf kleinem Raume alle drei Riffgattungen neben einander vorkommen, und dass nirgends Anzeichen einer säkulären Senkung bemerkbar sind, wohl aber solche einer recenten Hebung; er konstatirte weiter, dass sowohl die Gezeiten, als auch andere Meeresströmungen in einem von Darwin jedenfalls nicht geahnten Grade bei der Fortbildung einer Korallenkolonie mitwirken, indem das Wachsthum der Korallenknollen sich ganz verschieden gestaltet, je nachdem ein Strom trüben oder klaren, salzigen oder brackischen Wassers an sie herankommt. Auf Semper folgte Murray, der ein grösseres selbstständiges Werk über unseren Gegenstand schrieb [75]; als der Grundzug seiner Auffassung kann der folgende, selbst von ihm als Quintessenz derselben betrachtete Satz gelten [76]: „It was shoun, that foundations hawe been prepared for barrier reefs and atolls by the disintegration of volcanic islands, and by the building up of submarine volcanoes by the deposition of their summits of organic and other sediments.“ Nunmehr hielt es Rein für angezeigt, die eigene Priorität zu wahren und seine Stellung zur Korallenfrage von Neuem fest zu begründen. Indem er diess that [77], gelangte er zu folgendem Resultate: Korallenriffe können sich überall da bilden, wo die Grundbedingungen für die Existenz und Ansiedelung der sie erzeugenden Polypen — bestehend in mässig hoher Temperatur, Klarheit des Wassers und Nahrungszufuhr durch Wellenschlag — zugleich mit einer festen Unterlage gegeben sind, mag nun diese eine untergetauchte Küste oder eine submarine Bodenerhebung, und mag letztere vulkanischen Kräften oder organogener Aufschüttung zuzuschreiben sein. Das hervorragend Verdienstliche der Rein-Murray'schen Theorie liegt nach unserem Dafürhalten darin, dass sie nicht principiell die Darwin'sche Hypothese, sondern deren Einseitigkeit aufhebt und dem allenthalben so stark ausgeprägten Individualismus der Naturkräfte gebührend Rechnung trägt. — Später hat Rein dieser Darlegung noch einen Nachtrag folgen lassen [78], in welchem die von Darwin und Dana angestellten Dicken-Berechnungen als unrichtig nachgewiesen werden, mit Rücksicht auf eine durch v. Fritsch bewerkstelligte geognostische Erforschung der aus geologischer Vorzeit stammenden Korallenablagerungen (s. o. die Randnote). Zu Darwin's Zeit sei allerdings ein Zweifel darüber gestattet gewesen, ob es jene submarinen Bänke, wie sie Rein fordert, auch wirklich in grösserer Menge gebe, allein dieser Unsicherheit sei durch die Lothungen des „Challenger“, der „Tuscarora“ etc. einfürallemal ein Ende gemacht worden. Eine werthvolle Stütze erhielt die neuere Theorie durch die Mittheilungen Th. Studer's, des Zoologen der „Gazelle“ [79]. Er fand die günstigsten Umstände für ein Korallenriff kei der Tonga-Insel Wawau vereinigt. Eine über 50 m tiefe Meeresbucht dortselbst entbehrt völlig etwaiger in sie einmündender

Süsswasserbäche, gleichwohl ist der Boden nicht von lebenden Korallen, sondern nur von deren Detritus und von Schlamm erfüllt, und erst bei 40 m Tiefe treten plötzlich Korallenbauten in Gestalt einer schmalen, terrassirten Mauer auf, welche sich an den Korallenkalk des Ufers anlehnt. Wenn also in Darwin's Sinne jähe, durch Bodensenkung entstandene, Abstürze in kausaler Verbindung mit Riffbauten stünden, so wäre uns mit dieser Beobachtung ein schlimmes Räthsel aufgegeben*). Allenthalben giebt es Meeresinseln mit steilem Absturze, allein für die Ansiedelung der Riffkoralle braucht es noch besonderer Momente, die, wie wir gerne zugeben, noch nicht in absoluter Vollständigkeit ergründet sind.

Trotzdem scheint uns die von Rein und Murray angebahnte Theorie zur Zeit als die für unser Kausalitätsbedürfniss befriedigendste anerkannt werden zu müssen**). Es liegt kein empirisches Faktum vor, zu dessen Erklärung jene nicht entweder schon ausreichte oder doch mit sicherer Hoffnung auf Erfolg herangezogen werden könnte.

[1] H. Fischer, Ueber einige Gegenstände der physischen Geographie bei Strabo, Wernigerode 1878. S. 3. — [2] Varenius, Geographia generalis, Amstelodami 1650. S. 625 ff. — [3] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart und Augsburg 1854. S. 747. — [4] Wülfer, De majoribus oceani insulis earumque origine brevis disquisitio, Norimbergae 1691. — [5] Ibid. S. 23. — [6] Munz, Exercitatio academica de insulis natantibus. Atdorfi 1711. — [7] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 8. Band, Leipzig 1836. S. 1233 ff. — [8] Munz, Exercitatio etc., S. 7. — [9] Ibid. S. 10 ff. — [10] Huc-Gabet, Wanderungen durch das chinesische Reich, deutsch von Andree, Leipzig 1855. S. 215. — [11] Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. v. F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 521. — [12] Wülfer, De majoribus etc., S. 50 ff. — [13] Zimmermann, Specimen zoologiae geographicae, Lugduni Batavorum 1777. S. 623 ff. — [14] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1881. S. 24 ff. — [15] Ibid. S. 44 ff. — [16] Wallace, The Malay Archipelago, Vol. II.. London 1869. S. 18 ff. — [17] Peschel, N. Probl. etc., S. 35. — [18] Ibid. S. 51. — [19] Ibid. S. 55. — [20] Hahn, Inselstudien, Leipzig 1883. S. 10 ff. — [21] Peschel, N. Probl. etc., S. 117. — [22] Doberentz, Die Erd- und Völkerkunde in der Weltchronik des Rudolf von Hohenems, Zeitschr. f. d.

---

*) Die „Gazelle“ fand 254 m von der Insel Amsterdam im indischen Ocean eine Tiefe von 1624 m; wir haben also für den Böschungswinkel β die Relationen

$$\text{cotang}\ \beta = 127:812 = 1:6{,}395,\ \beta = 81^{\circ}\ (\text{appr.}).$$

Diess ist also ein Steilabfall, wie er im Hochgebirge kaum je vorkommt, und doch fehlen die Korallen. Ein steiler Berg, wie die Windgälle der Gotthardtstrasse, würde also, so meint Studer (a. a. O.), ganz in der gleichen Lage sein, wenn er plötzlich in die Tiefe versänke.

**) Wir dürfen nicht verschweigen, dass auch in neuester Zeit noch entschiedene Anhänger der älteren Anschauung aufgetreten sind. Issel hielt in dieser Absicht einen Vortrag vor den Mitgliedern des internationalen geographischen Kongresses zu Venedig, und Henrich schliesst seine streng objektive Vergleichung beider Lehrmeinungen [80] mit dem Satze: „Nach allem dem kommen wir zu dem Schlusse, dass die Darwin'sche Senkungstheorie durch die Ausführungen des Herrn Rein in Betreff der Bermudas-Inseln nicht erschüttert worden ist.“ Allerdings ist, worauf Henrich besonderes Gewicht legt, auch jene Inselgruppe schon der Schauplatz einer Senkung gewesen, allein Rein will ja auch nicht beweisen, dass Koralleninseln niemals etwas mit einer Bodensenkung zu thun hätten, sondern nur, dass Hebungen für gewöhnlich den Thieren einen bequemeren und zugänglicheren Bauplatz liefern. Gerade dieser „freiere Horizont“ Rein's, wie Henrich doch selber sich ausdrückt, will nicht die ihm innewohnende richtige Würdigung finden.

Philol., 13. Band. S. 201. — [23] Krümmel, Bemerkungen zur Tiefenkarte des indischen Oceanes, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Jahrgang. S. 117. — [24] v. Richthofen, China, 1. Band, Berlin 1877. S. 730. — [25] Kant's Schriften etc., S. 456. — [26] Guthe-Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1. Band, Berlin 1881. S. 85. — [27] Ratzel, Anthropogeographie, Stuttgart 1882. S. 90 ff. — [28] Hahn, Inselstudien, Leipzig 1883. S. 24. — [29] Forster, Bemerkungen auf einer Reise um die Welt, Berlin 1783. S. 126 ff. — [30] Rittau, J. R. Forster's Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt, Hanau 1881. S. 6 ff. — [31] v. Chamisso, Kotzebue's Entdeckungsreise nach der Südsee und nach der Beringsstrasse, 3. Band, Weimar 1821. S. 29 ff. — [32] Buffon, Histoire naturelle, Vol. II., Zweibrücken 1785. S. 250 ff. — [33] v. Buch, Ueber die Zusammensetzung der basaltischen Inseln und über Erhebungskrater, v. Leonhard's Miner. Taschenb., 1821. S. 391 ff. — [34] v. Richthofen, Bemerkungen zum genetischen Inselsystem, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 240 ff. — [35] Hoffmann, Physikalische Geographie, Berlin 1837. S. 101 ff. — [36] Kapp, Philosophie der Erdkunde, 1. Band, Braunschweig 1845. S. 73. — [37] Peschel, N. Probl. etc., S. 24 ff. — [38] Gorceix, L'île de Kos, L'Institut, 1874, II. S. 78; Phénomènes volcaniques de Nisyros, Compt. rend. de l'ac. franç., Vol. LXXVIII. S. 444 ff. — [39] Mohn, Die norwegische Nordmeerexpedition, Petermann's geogr. Mittheil., 1880. S. 6. — [40] Wallace, Island life, London 1880. S. 234 ff. — [41] Vgl. [27]. — [42] A. Kirchhoff, Das genetische Inselsystem, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 169 ff. — [43] Hahn, Inselstudien, S. 34 ff. — [44] Ibid. S. 56 ff. — [45] Ibid. S. 110 ff. — [46] Ibid. S. 116 ff. — [47] Ibid. S. 154. — [48] Marchesetti, Cenni geologici sull' isola di Sansego, Trieste 1882. — [49] Pechuel-Losche, Das Kuilu-Gebiet, Petermann's geogr. Mittheil., 1877. S. 10. — [50] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 137 ff. — [51] v. Lehnert, Ueber Landbildungen im Sundagebiete, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 56. — [52] Ibid. S. 58. — [53] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 233. — [54] Ibid. S. 213 ff. — [55] Forster, Bemerkungen etc., S. 127. — [56] Supan, Grundzüge etc., S. 224 ff. — [57] Ibid. S. 229. — [58] Dupont, Les îles coraliennes de Roly et de Philippeville, Bruxelles 1882. — [59] Liebe, Ein Bryozoenriff, Humboldt, 2. Jahrgang. S. 264 ff. — [60] Ch. Darwin, On the structure and distribution of coral reefs, London 1842; 2. Aufl., ibid. 1874. — [61] Ch. Darwin, Les récifs de corail, leur structure et leur distribution, trad. par Cosserat, Paris 1878. — [62] Rittau, J. R. Forster's Bem. etc., S. 8. — [63] Hann - v. Hochstetter - Pokorny, Allgemeine Erdkunde, Prag 1881. S. 382. — [64] Reclus, La terre, Vol. I., Paris 1869. S. 793. — [65] Boccardo, Pirosismologia, Genova 1869. S. 355 ff. — [66] Stoppani, Dinamica terrestre, Milano 1871. S. 487 ff. — [67] Malfatti, Scritti geografici ed etnografici, Milano 1869. S. 186 ff. — [68] Marinelli, Carlo Roberto Darwin e la geografia, Venezia 1883. — [69] A. Agassiz, On the Tortuga and Florida reefs, Transact. of the Amer. society, Vol. XI.; L. Agassiz, On the physical condition of the Florida reef, Merc. Mar. Mag., 1870. S. 289 ff. — [70] Le Conte, On the agency of the Gulf-Stream in the formation of the penninsula and the keys of Florida, Albany 1856. — [71] Dana, Corals and coral islands, New-York 1872. — [72] Die Entstehung der Korallenriffe, Kosmos, (2) 1. Band. S. 210 ff. — [73] Rein, Beiträge zur physikalischen Geographie der Bermudas-Inseln, Jahresber. d. Senckenberg'schen Gesellsch. zu Frankfurt, 1870. S. 158 ff. — [74] Semper, Reisebericht an Kölliker, Zeitschr. f. wissensch. Zool., 13. Band. S. 563 ff.; Die Philippinen und ihre Bewohner, Würzburg 1869. S. 100 ff. — [75] Murray, The structure and origine of coral reefs and islands, Edinburgh 1880. — [76] Murray, The structure and origine of coral reefs and islands, Nature, Vol. XXII. S. 35 ff. — [77] Rein, Die Bermudas-Inseln und ihre Korallenriffe, nebst einem Nachtrage gegen die Darwin'sche Senkungstheorie, Verhandl. d. I. deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 30 ff. — [78] Ibid. S. 39 ff. — [79] Th. Studer, Ueber einige wissenschaftliche Ergebnisse der Gazellen-Expedition, namentlich in zoogeographischer Beziehung, Verhandl. d. II. deutschen Geographentages, Berlin 1882. S. 23 ff. — [80] Henrich, Korallenbauten, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 252 ff.; 2. Jahrgang. S. 374 ff.

Achte Abtheilung.

Das Festland mit seiner Süsswasserbedeckung.

Kapitel I.

Geogonie und Geognosie.

§. 1. **Von dem Verhältniss der Geogonie zur Kosmogonie.** Das erste Kapitel der ersten Abtheilung war dazu bestimmt, Rechenschaft von den Ansichten abzulegen, welche in Fachkreisen über die Entstehung unseres Sonnensystemes und insbesondere des als „Planet Erde“ bekannten Bestandtheiles dieses Systemes gehegt wurden und noch gehegt werden. Bis dahin reicht die Weltentstehungslehre, die Kosmogonie, als deren vorläufigen, wenn auch freilich noch lange nicht allen Anforderungen genügenden Abschluss wir die Kant-Laplace'sche Theorie gelten lassen mussten. Die Erdkugel ist nunmehr ein Gegebenes, wenn schon in chaotischem Zustande, und so richten sich denn unsere weiteren Absichten darauf, die Umbildung der Erdkruste und Erdoberfläche — vom Erdinneren ward (Band I, S. 314 ff.) gesondert gehandelt — aus jenem ursprünglichen in ihren gegenwärtigen Zustand forschend zu verfolgen und die einzelnen Stadien dieses Vorganges klarzustellen. Dieser Theil der Forschungsarbeit kann füglich als Geogonie bezeichnet werden. Kosmogonie und Geogonie werden häufig mit Bewusstsein identificirt, häufig auch einfach verwechselt, und es wird sich auch nicht in Abrede stellen lassen, dass es nicht ganz leicht ist, stets eine strenge Scheidelinie zu ziehen. Wir selbst werden im Folgenden genöthigt sein, in unserer Erzählung auch einige schon früher (Band I, S. 37) kurz berührte Punkte abermals zu streifen, allein in der Hauptsache halten wir daran fest: Die Geogonie hebt erst in dem Momente an, in welchem der Erdkörper sein Dasein als astronomisch selbstständiges Individuum beginnt.

Eine treffliche Uebersicht über die geogonischen Hypothesen der älteren Zeit, deren wir selbst uns mit grossem Nutzen bedienten, giebt Muncke's Lexikon-Artikel „Geologie“ [1]. Mit steter Beziehung auf die Stellung der betreffenden Hypothesen zum biblischen Berichte

unterzieht Zöckler dieselben [2] einer sehr sorgfältigen Analyse; die mit solcher Rücksichtnahme verbundene Einseitigkeit der Betrachtung kann für die Zeit des XVII. und XVIII. Jahrhunderts nicht nachtheilig wirken, denn es gilt eben, was der genannte Schriftsteller als für ihn bestimmend anführt [3]: „Diluvialismus ist der Grundcharakter der schöpfungsgeschichtlichen Theorieen unseres Zeitraumes.“

§. 2. **Die geogonischen Spekulationen bis zum Auftreten Werner's.** Ohne dass diese erst einer etwas späteren Periode angehörigen Kampfesnamen damals schon in Gebrauch gewesen wären, kann man doch vom ersten Anfange an deutlich zwei Heerlager der Geologen unterscheiden: Plutonisten und Neptunisten. Um mit Einem Worte die Gegensätzlichkeit der hiedurch gekennzeichneten Anschauungen auszudrücken, können wir kurz sagen: Den Plutonisten ist die Erdrinde in ihrer gegenwärtigen Zusammensetzung das Produkt eines Erstarrungsprocesses den Neptunisten das Produkt eines Sedimentationsprocesses. Der Chorführer der erstgenannten Schule ist unzweifelhaft Cartesius, dessen Bedeutung erst durch das Erscheinen von Daubrée's schöner Monographie [4] der Neuzeit ganz erschlossen worden ist. Wir werden uns im letzten Kapitel dieser Abtheilung mit seiner Lehre von einer das Centralfeuer umschliessenden „voute terrestre“ noch weiter zu beschäftigen haben. Dass Leibniz bei Abfassung seiner gleichfalls ein rein plutonistisches Gepräge tragenden „Protogaea“ von Descartes nicht völlig unbeeinflusst war, geht aus den Paragraphen 2 und 3 dieser Schrift [5] klar hervor. Einen höheren, weil objektiveren Standpunkt nimmt der Däne Steno ein, der in einem ebenso kleinen, als inhaltsreichen Werke [6]*) die Nothwendigkeit einer Scheidung der Gesteine in geschichtete und massige hervorhob, dabei aber doch dem plutonistischen Gedanken insoweit Rechnung trug, dass er die vielfach zu beobachtende Abweichung der Schichten von der Horizontalebene durch die vom Centralfeuer ausgehenden Dämpfe verschuldet sein liess. Wo aber der geniale Steno noch vorsichtig mit der langsamen, aber stetigen Aktion gespannter Dämpfe zurechtkam, da arbeiteten bereits ein Lazaro Moro [9] und ein Withehurst [10] mit gewaltigen Erdkatastrophen; sogar die im Meere abgesetzten Schichtungen wurden auf jähe Durchbrüche des inneren Feuers durch die dünne Kruste und auf die bei solchen vulkanischen Ausbrüchen emporgeschleuderten Eruptivmassen zurückgeführt. Die „Kometomanen“, von denen bereits früher (a. a. O.) die Rede war, Burnet, Whiston, Wiedeburg, Buffon u. s. w., müssen ebenfalls den Plutonisten zugezählt werden, wiewohl sie gegebenenfalls sich auch nicht scheuten, starke Anleihen bei der mechanischen Gestaltungskraft des Wassers zu machen.

Inzwischen waren auch die eigentlichen Neptunisten nicht müssig. Ein geordnetes und wegen seiner Konkordanz mit der mosaischen Geo-

*) In sehr erfreulicher Weise hat uns Epigonen Élie de Beaumont den nicht ganz leicht herauszufindenden Kern von Steno's System zugänglich zu machen gewusst [7]. Auch Daubrée erklärt [8] jene Schrift für eine der merkwürdigsten geologischen Leistungen aller Zeiten, sowohl in materieller, wie auch in formeller Beziehung. Plenkers (Der Däne Niels Stensen, Freiburg 1885) schildert biographisch das Wirken des vielseitigen Naturforschers.

gonie seinen Zeitgenossen gewiss sehr annehmbares Programm für dieselben stellte Woodward auf [11]; seine Grundsätze gipfeln in dem folgenden Satze [12]: „Zur Zeit der Sintfluth, als das Wasser den ganzen Erdboden bedeckte, wurden die Steine, der Marmor, die Metalle, alle mineralischen Körper und mit Einem Worte alle Fossilia, welche zuvor nur einige Härte gehabt, gänzlich aufgelöst, und die Theilchen, woraus sie zusammengesetzt waren, zertrennt und von einander gerissen, nachdem ihre Cohäsion ganz aufgehoben war.“ Ray [13] und Pallas [14] suchten eine Vermittlerrolle zu spielen; die totale Wasserbedeckung der Erdoberfläche wirkte allerdings in erster Linie gestaltend auf diese letztere ein, aber vulkanische Ejektionen und das Eindringen erhitzter Massen in die Niederschläge kamen doch auch nebenbei zur Geltung. Auch J. E. Silberschlag, der auf dem Titel seines voluminösen Werkes [15] das Wort „Geogonie“ wohl zuerst in diesem Sinne gebrauchte, lässt bei seiner Theorie der Gesteinsbildung Feuer und Wasser in gleicher Weise thätig sein; „es lassen sich,“ so formulirt er sein durch eingehende geognostische Studien im Harzgebirge gewonnenes Glaubensbekenntniss [16], „weder die Eigenschaften, noch die Ortsumstände aus der Feuerhypothese, und ebensowenig aus der Wasserhypothese, sondern allein aus einem Durchbruche einer elastischen unterirdischen Kraft herleiten“ *).

Die Beweismittel, deren sich beide Richtungen bedienten, hat Reyer [18] zum Gegenstande eines tief eindringenden, vergleichend-geschichtlichen Studiums gemacht. Als ganz unzweideutiges Merkmal vulkanischen Ursprunges betrachtete man anfänglich die glasartigen Stoffe, allein Ferber wies in seinen Reisebriefen aus Italien (Prag 1783) das Vorhandensein verglaster Materien auch in Sedimentbildungen nach. Alsdann erhob sich ein lebhafter Streit betreffs der sogenannten Gänge cylindrischer oder prismatischer Protrusivmassen, die sich in fremdem Gesteine vorfinden **). Gerade diese Gänge gewannen mehr und mehr

*) Dieser Silberschlag ist nicht zu verwechseln mit seinem jüngeren Bruder, der ein Werk von verwandter Tendenz, jedoch minder bedeutenden Inhaltes, verfasst hat [17].

**) Um nicht genöthigt zu sein, auf diese Polemik zurückzukommen, schalten wir gleich hier das Nothwendigste aus der Theorie der Gänge ein. Schon der alte Bergmann Mathesius brachte in seinem Lehrbuche [19] jene mit den Schmelz- und Sublimationsprocessen der Alchymie in Verbindung. Daran knüpfte, wenn auch unbewusst, der Neptunist v. Trebra [20] an; das in der Tiefe befindliche Wasser wurde ihm zufolge durch die innere Erdwärme erhitzt, gieng in Gährung über und drang so in die Spalten des Felsgerüstes ein, um als Niederschlag die Mineralgänge zu liefern. So wurden Granit- und Basaltgänge — z. B. von Saussure und Goethe — als aus Wasser niedergeschlagene Gebilde betrachtet. Den Umstand, dass die doch zweifellos plutonische, resp. vulkanische Lava immer in Gangform erscheint, beutete Strange, hierin offenbar auch seinerseits zu weit gehend, für den plutonischen Ursprung der Gänge aus [21]. Dass bei der Entstehung der Erzgänge nicht immer an ein einheitliches Bildungsgesetz gedacht zu werden braucht, scheint aus Sandberger's monographischer Behandlung der Frage [22] zu erhellen, durch welche als möglich, wenn auch nicht als gleichberechtigt, eine Ascensions-, eine Descensions- und eine laterale Sekretionstheorie anerkannt werden, welch' letztere besonders an dem Beispiele der Erzgänge von Schapbach im Elsass erläutert wird. Nach Reyer [23] ist ein stichhaltiger Beweis für die plutonische Natur der eingekeilten Granitmassen weder petrographisch, noch tektonisch zu erbringen, vielmehr liefert einen solchen nur die innige Verknüpfung derselben mit als vulkanisch anerkannten Felsarten (Band I, S. 352). Aus der Länge und Dünne der dem südöstlichen Ungarn eigenthümlichen Eruptiv-

den Werth und die Bedeutung eines Kriteriums für die Güte einer geogonischen Hypothese, und vor Allem war es der Basalt, der den Prüfstein abgeben musste. Diese Gesteinsart, der „Basanites" der Alten, der jedoch nach A. v. Humboldt's Untersuchung [26] doch nicht ganz zu den von Plinius und Strabon angegebenen Kennzeichen zu stimmen scheint, tritt allenthalben in Gestalt schwärzlicher Säulenbündel hervor, welche den Scharfsinn der Forscher des ausgehenden XVIII. Jahrhunderts ganz besonders angeregt zu haben scheinen. Wolfgang v. Goethe schildert uns in seinen mineralogisch-geologischen Fragmenten die einzelnen Episoden dieser Forschung [27]: „1760 oder 1763 stritten Desmarest und Monnet um die Ehre vermeintlicher Entdeckung: der Basalt sei ein vulkanisches Produkt. Der erste Gedanke gehört also den Franzosen; auch leisteten sie nicht wenig schon früh genug für die Geschichte des Basaltes. 1771 und 1773 erschienen Raspe und Ferber als deutsche Vulkanisten, der letztere jedoch — s. o. — sehr mässig gesinnt. In demselben Decennium stimmten Charpentier, Reuss, Rössler gegen die Vulkanität, Baumer gleichfalls. 1771 erklärte sich Brünnich, 1777 Bergman, vom Auslande her, für die Neptunität, sowie später Kirwan. Die Gallier und Italiäner im Ganzen blieben dem Feuersystem getreu, so auch jetzt." Alsdann geht Goethe zu Werner über, zu dessen Lehren er sich mit einer an Fanatismus grenzenden Hingabe bekannte*), und der auch in der That, man mag über sein System im Einzelnen denken, wie man will, einen Markstein in der Geschichte der geogonischen Forschung bezeichnet.

§. 3. **Werner und Hutton.** Abraham Gottlob Werner, der gefeierte Begründer der Oryktognosie als eines selbstständigen Wissenszweiges, gieng in seinen das Programm desselben entwerfenden Schriften [28] davon aus, dass ursprünglich der ganze Erdball eine tropfbar flüssige Masse gewesen sei, und dass vom Centrum aus der Festwerdungsprocess radial fortgeschritten sei. So hätten sich zuerst die Urgebirgsarten (Granit, Gneiss, Glimmer- und Thonschiefer) konsolidirt, wobei die Flüssigkeitsmenge bereits zur Hälfte zurückgieng, alsdann hätten sich aus den obersten Schichten jener die Uebergangsgebirge abgelöst, und eine Erdrevolution habe von diesen und den Urgebirgen nachgerade genug Trümmer losgeschält, um daraus die Flötzgebirge zu bilden. Als jüngste Formation sei der Basalt zu betrachten. Das ziemlich gleichzeitig mit dem Werner'schen entstandene System des Genfers Deluc [29] war insoferne das konsequentere, als es die Erdrevolutionen beseitigte und an deren Stelle das Spiel stetig wirkender Kräfte setzte. Allein gerade die Ueberfluthungshypothese, für welche auch missverstandene religiöse Argumente zu sprechen schienen, fand Anklang bei dem selbst in bürger-

gänge schliesst Pošepný [24], dass die Eruptivmassen nicht selbst trieben, sondern durch benachbarte sinkende Massen getrieben wurden. — Mineralgänge bleiben oft, wenn Verwitterung und Erosion das sie umschliessende, mürbe Gestein beseitigt haben, als gigantische Gebirgspfeiler aufrecht stehen; Supan bildet einige besonders schöne Fälle dieser Art ab [25].

*) Bekannt ist sein glühender Hass gegen die Plutoniker, der sich u. a. in einzelnen „Xenien" ausspricht: „Kaum kehrt der alte Werner den Rücken, zerstört man das poseidaonische Reich . . ."

licher und politischer Wallung begriffenen Zeitalter, und getragen von dieser Stimmung schuf Cuvier seine gewaltthätige Lehre von den geogonischen Kataklysmen, welch' letztere dafür zu sorgen hatten, dass immer ein ausgebildeter koncentrischer Ring der Erdschale von Wasserfluthen vollständig begraben und zur Grundlage einer neu sich ansetzenden Schicht gemacht wurde [30]. Buckland [31] und Jameson [32] fanden in diesen kühnen Konstruktionen der Erdgeschichte die Lösung so manchen paläontologischen Räthsels und brachten dieselben auch mit anderen geologischen Problemen in Verbindung. Dem gegenüber bahnte Lamarck [33] die Rückkehr zu einer minder gewaltsamen Deutung der Naturbegebenheiten auf neptunistischem Wege an. Auch bei ihm gebricht es nicht an den damals modernen Ueberschwenglichkeiten; „vergleichen wir indessen Lamarck's Hydrogéologie mit den zu seiner Zeit in Mode stehenden erdgeschichtlichen Theorieen, so hat sie neben vielen anderen besseren Gedanken hauptsächlich das grosse Verdienst, zur Erklärung blos heute noch wirkende Ursachen und Kräfte herangezogen und auf das Falsche der Lehre von den allgemeinen und plötzlichen Katastrophen hingewiesen zu haben“ [34].

Ein gefährlicher Gegner erstand jedoch dem ganzen Neptunismus in der Person des Schotten Hutton, der [35] in Gemeinschaft mit seinem ihn auch schriftstellerisch unterstützenden Freunde Playfair [36] die längere Zeit hindurch unterdrückte plutonistische Lehre von Neuem zu Ehren brachte. Für seine Zwecke war es wichtig, dass gerade jetzt eine wissenschaftliche Krystallographie, wie sie Cäsalpin und Steno (s. o. §. 2) blos geahnt hatten, unter den Händen eines Hauy und Romé Delisle zu erstehen begann, denn eben die Struktur der Gesteine erscheint bei Hutton als das Wichtige; das krystallinische oder amorphe Gefüge der Felsen wird von ihm als Prüfungsmittel für die Entstehungsart des betreffenden Felsens festgehalten, und er weiss auch bereits, dass nur die Zeitdauer der Abkühlung eine verschiedene zu sein braucht, um einem erhitzten Mineral beim Erstarren eine granit- oder basaltartige Struktur zu ertheilen. Das geologische Experiment unterstützte überhaupt Hutton in nicht zu unterschätzender Weise, namentlich als noch J. Hall seine dem nämlichen Zwecke dienenden Versuche zu veröffentlichen begann [37]. Seine Erzeugung von Sandstein durch erhitztes Salz, welches er auf gewöhnlichen Sand einwirken liess, erregte damals das grösste Aufsehen. Unbeeinflusst von den zu jener Zeit nur erst in vorläufiger Skizze bekannt gewordenen Ansichten Hutton's hatte Dolomieu in seinen Untersuchungen über die Bildung des Basaltes und eines aus Magnesia und kohlensaurem Kalke gemischten, von ihm selbst dargestellten Minerales*) sich von Neuem als Vulkanist bethätigt [38], und Breislak wies mit Glück einen der scheinbar kräftigsten Gegengründe der Neptunisten zurück, indem er darthat [39], dass auch im plutonischen Wasser-Gluthfluss Flüssigkeitsreste sich erhalten können**).

*) Dasselbe führt seitdem den Namen Dolomit; das Gestein kommt vielfach in unseren Alpen vor, wennschon auch manche Gebirgsgruppen, z. B. diejenige von Ampezzo, diese Bezeichnung zu Unrecht tragen.

**) Hätte Mohr auf diese älteren Feststellungen von Spallanzani und Breislak gebührend Rücksicht genommen, so würde er nicht, wie Klein be-

§. 4. **Die Geogonie im neunzehnten Jahrhundert.** Die ersten Jahrzehnte sahen den alten Kampf mit ziemlicher Erbitterung sich fortsetzen. Einen starken Stoss erlitt der Neptunismus, als zwei seiner Vertreter, die im sächsischen Kohlenbecken und unter dem Drucke der Werner'schen Autorität für ihn gewonnen worden waren, als A. v. Humboldt und L. v. Buch unter fernen Breiten zu ebenso energischen und wissenschaftlich fortgeschritteneren Anhängern der plutonistischen Theorie sich umwandelten*). Allerdings blieben Werner, vorwiegend in Deutschland, verschiedene Gelehrte getreu, unter denen wir K. v. Raumer, Nepomuk Fuchs und A. Wagner nennen wollen**); die neuere Zeit sah noch eine sogenannte jung-neptunistische Schule entstehen, deren Vorkämpfer Mohr, Volger und der als Verfasser eines der ersten geologischen Handbücher [43] weitberühmte G. Bischof waren. Letzterer gieng in dem richtigen Gefühle, dass ein Anhänger der Kant-Laplace'schen Kosmogonie auch plutonisch denken müsse, soweit, der Erde ihre aus jener Hypothese allerdings nothwendig entfliessende ellipsoidische Gestalt abstreiten zu wollen (s. Band I, S. 150). Behutsamer erklärte D'Aubuisson [44], er wolle Werner's Theorie der Gangausfüllung gerne für gewisse Fälle annehmen, allein namentlich dann müsse er dieselbe zu Gunsten einer plutonischen Auffassung verwerfen, wenn mehrere benachbarte oder gar sich durchkreuzende Spalten von verschiedener Gangmasse erfüllt seien.

Der Plutonismus, der an sich schon durch die hervorragendsten Forschernamen getragen war, und dem, wie wir soeben sahen, selbst von der Gegenseite gewichtige Zugeständnisse gemacht werden mussten, würde bald als anerkannter Sieger aus diesem Kampfe hervorgegangen sein, wenn nicht durch eine vollständige Verschiebung des Operationsfeldes der Kampf selbst eine ganz andere Wendung genommen hätte. Seit den vierziger Jahren nämlich hat der Gegensatz zwischen Plutonisten und Neptunisten mehr und mehr an Schärfe verloren, und an seine Stelle ist ein anderer getreten: der Gegensatz zwischen den Anhängern der geologischen Katastrophenlehre und den Anhängern des geologischen Quietismus. Jene ersteren stehen noch auf dem von Cuvier bereiteten Boden, ihre Zahl hat sich mehr und mehr gelichtet, doch fanden sich in ihren Reihen noch bis in die neueste Zeit herein bedeutende Männer, wie Élie de Beaumont,

---

richtet [40], aus den Wassereinschlüssen der von Kühnert analysirten kurhessischen Stangen-Braunkohlen den apodiktischen Beweis dafür gezogen haben, es seien jene Kohlen niemals mit gluthflüssigem Basalt in Berührung gewesen.

*) Wir betonten schon bei einer früheren Gelegenheit (Band I, S. 356), dass der engbegrenzte regionalistische Gesichtskreis, aus welchem Werner sich nie erhob, ihn seinen Schülern gegenüber, deren Blick durch weite Reisen geschärft war, bei aller ihm eigenen Genialität doch den kürzeren ziehen lassen musste.

**) Für die von Fuchs zur Erdbildungsfrage eingenommene Stellung ist namentlich die von ihm gegen Berzelius gerichtete Abwehr [41] charakteristisch. Von der chemischen Seite der Polemik abgesehen, legt letzterer ein Hauptgewicht darauf, dass nach Fuchs die von der allmählig krystallisirenden weichen Masse erfüllten Spalten nie völlig gefüllt sein könnten, und Fuchs führt eben hier auf die Hohlräume der Erdrinde zurück. Aber auch die auf Schafhäutl's Versuche [42] sich gründende Behauptung, dass die chemische Wechselwirkung zwischen Säuren und Salzbasen gegen Druck völlig neutral sich verhalte, muss heute bedenklich erscheinen.

dessen uns aus Band I (S. 277, S. 402) bekannte Lehre vom „Réseau pentagonal“ der Erdoberfläche zumal in seinem Vaterlande begeisterten Anklang fand und von Vézian und Chancourtois weitergebildet, von Pilar dagegen wohl mit Recht als Hinderniss für eine nicht formalistisch, sondern genetisch zu Werke gehende Geologie bezeichnet wurde [45]. Dieser Schule der geologischen Umwälzungen trat Lyell in seinem zuerst 1830 bis 1833 ausgegebenen, dann aber noch nicht weniger als elfmal aufgelegten Hauptwerke [46], dem dann auch ein gedrängterer Lehrbegriff [47] nachfolgte, entgegen*). Für ihn genügt das stille Walten der uns bekannten Naturkräfte, um jede beliebige Veränderung der oberflächlichen Erdschichten daraus zu erklären, sobald nur die Verfügung über beliebig grosse Zeiträume freigestellt ist. Von Uebertreibungen nach dieser letzteren Seite hin ist nun allerdings die Lyell'sche Richtung nicht frei zu sprechen, und deren Furcht vor Katastrophen ist vielleicht allzu gross, allein die Grundgedanken derselben werden durch Ausschreitungen nicht getroffen. Man kann vielmehr als das Ziel, zu welchem die geogonische Forschungsarbeit in der Jetztzeit gelangt ist, dieses formuliren: Auf der von Lyell vorgezeichneten Grundlage hat nicht sowohl eine Versöhnung, als vielmehr eine Verschmelzung und gegenseitige Durchdringung der sich früher so schroff gegenüberstehenden Anschauungen, der plutonistischen und der neptunistischen, sich vollzogen. Die letztere hat ihre Tendenz des Alles-Erklären-Wollens erheblich beschränkt und sich mehr auf die ihr anstandslos zu überlassende Erdoberfläche zurückgezogen, die letztere hat, wie aus Kap. II unserer dritten Abtheilung zu ersehen, mit der Hypothese eines wirklichen Centralfeuers endgültig gebrochen und den Sitz der vulkanisch-seismischen Störungen sehr nahe an die Oberfläche verlegt. Gemässigt-plutonisch ist die Erklärung der Gangerfüllung fast bei allen neueren Geologen gehalten, sei es, dass dieselben das Vorhandensein einer magmatischen Schicht für wahrscheinlich erachten (Zöppritz, Reyer, Pilar), sei es, dass sie die beobachtete Schmelzhitze auf rein geotektonische Ursachen zurückleiten (Reusch, Mallet, Suess). Mit dieser Erkenntniss beschliessen denn auch wir unsere Uebersicht über die Entwickelungsgeschichte der Geogonie, indem wir uns den Objekten, aus deren Betrachtung jene Disciplin ihre Argumente entnahm, selbst zuwenden**).

*) Im Jahrgang 1882 des „Ausland“ zeichnet Penck mit markigen Strichen Lebens- und Studiengang dieses grossen Geologen.

**) Eine unseres Erachtens sehr plausible Darstellung, resp. Rekonstruktion des Herganges, wie er sich bei der Entstehung unserer heutigen Erde abspielte oder wenigstens abgespielt haben kann, gab Sterry Hunt in einem Vortrage, den er 1876 vor der „Royal Institution of Great Britain“ hielt. Wir citiren nach H. J. Klein's wortgetreuer Uebertragung [48]. Es wird, ähnlich wie im ersten Bande (S. 322), geschildert, wie bei sinkender Temperatur aus der Urmasse dissociirter Gase zuerst die feuerbeständigsten chemischen Verbindungen sich abschieden, wie dann immer weitere Urstoffe flüssig wurden — das Festwerden der allerinnersten Theile ist keine für das Folgende unumgänglich erforderliche Bedingung. Die bei der Bildung der Erdrinde thätig gewesenen Einflüsse waren nach Sterrey Hunt die nämlichen, welche stattfinden würden, wenn heute noch Land, Meer und Luft eine sehr hohe Temperatur besässen; die Uratmosphäre war sehr dicht und mit sauren Gasen überladen. Die Kondensation erfolgte also auch bei einer vergleichsweise sehr hohen Temperatur, Lösungen von Salzsäure wurden gefällt,

§. 5. **Geognosie, Petrographie und Petrefaktenkunde.** Als Geognosie bezeichnen wir gemeiniglich jenen vorbereitenden Theil der allgemeinen Geologie, welchem die naturhistorische Beschreibung der die Erdrinde bildenden Bestandtheile zufällt. Dieselbe gehört als solche nicht eigentlich in den von uns ohnehin schon sehr weit gesteckten Bereich der tellurischen Physik, wohl aber hat die letztere sehr häufig Veranlassung, auf geognostische Begriffe und Definitionen zurückzugreifen. Wir verweisen zum Studium derselben auf den kleineren Leitfaden von Kner [49], sowie auf die umfänglicheren Lehrbücher von Naumann [50] und H. Credner [51]. Auch die Schöpfungsgeschichte von F. Pfaff giebt [52] von dem geognostischen Klassifikationswesen gerade das für physikalisch-geologische Studien Nothwendige in guter Auswahl und Darstellung. Von der eigentlichen Geognosie hat sich neuerdings wieder als ein besonderer Bestandtheil die Gesteinskunde (Petrographie oder Lithologie) abgetrennt, für welche O. Lang einen Handweiser [53] geliefert hat.

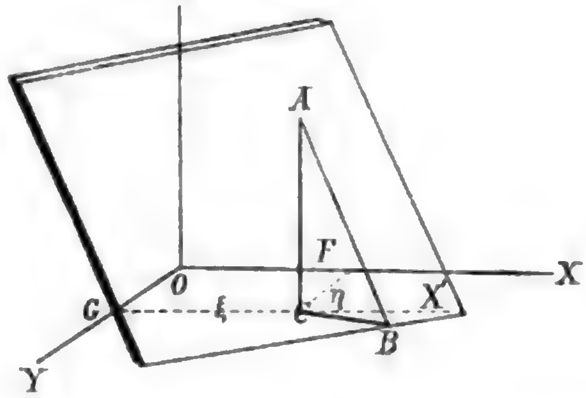
Von nahe an 700 selbstständig vorkommenden Mineralverbindungen können nur etwa 12 als solche gelten, welche bei der Zusammensetzung der Erdkruste wesentlich betheiligt sind [54]. Zu erforschen ist in jedem Einzelfalle die Struktur des Gesteines, d. h. um mit Naumann [55] zu reden, „das durch die Form, die Grösse, die Lage, die Vertheilung und die Verbindung der Gesteinselemente bedingte innere Gefüge derselben“. Man unterscheidet eine körnige, ungleichartig-schiefrige, transversal-schiefrige, kugelige und Porphyr-Struktur, die Gesteine selbst aber trennt man (s. o. §. 2) in geschichtete oder massige. Wird eine Gesteinsschicht gegen ihre Ränder hin immer dünner, so sagt man, sie sei ausgekeilt, wird ihr paralleler Verlauf dadurch beeinträchtigt, dass sie zwischen andere Schichten eingezwängt erscheint, so spricht man von einem Absetzen der Schicht; eine Schicht streicht aus und zeigt einen entwickelten Schichtenkopf, wenn sie mit unveränderter Mächtigkeit an der Oberfläche zu Tage tritt. Die Lage der Schichten genau zu erkennen, ist eine der Hauptaufgaben des Geognosten und noch mehr des eigentlichen Bergmannes, der in diesem Beginnen von einer besonderen Abtheilung der praktischen Geometrie, der Markscheidekunst, unterstützt wird*). Die geometrischen Kenntnisse, deren es zu einer solchen Bestimmung bedarf, sind keine anderen, als diejenigen, welche eine jede Punktbestimmung im Raume voraussetzt. Es sei OXYZ (Fig. 92) ein rechtwinkliges Koordinatensystem, und zwar

die auf die Silikate zersetzend einwirkten, und so entstanden jene Chlorverbindungen der verschiedenen Metalle, welche in ihrer gegenwärtigen Form Meerwasser heissen. Die Atmosphäre jener Vorzeit unterschied sich von der gegenwärtigen durch ihren Reichthum an Kohlensäure, und diese schuf als zersetzendes Element eine neue Erdoberfläche.

*) Diese „Geometria subterranea“ erscheint in wissenschaftlicher Form zuerst um die Mitte des XVI. Jahrhunderts bei dem uns von früher her (Band I, S. 15) bekannten Montanisten Agricola [56]. Mehr nach der mathematischen Seite hin bildete dieselbe aus der von Melanchthon hoch geachtete Wittenberger Professor Reinhold [57], der die vorkommenden Grössen trigonometrisch zu berechnen lehrte. Den um die Mitte des vorigen Jahrhunderts erreichten Stand kennzeichnet das Lehrbuch v. Oppel's [58], unser heutiges Wissen und Können aber das treffliche Werk v. Bauernfeind's [59], an welches auch wir uns direkt angeschlossen haben.

möge OX dem Südpunkte, OY dem Westpunkte zugewandt sein. AB sei eine auf der Oberfläche der Schicht der Richtung der letzteren parallel gezogene Gerade, eine fallende Linie. Wir fällen aus ihrem Anfangspunkte A eine senkrechte AC auf die XY-Ebene; dann nennt man C den Seigerpunkt, die Linie CB aber die Sohle. Das Fallen der Linie wird gemessen durch den Fallwinkel $ABC = \text{arc tang}\,\frac{AC}{CB}$. Damit ist die Richtung der Geraden AB jedoch noch nicht völlig fixirt; vielmehr gehört hiezu noch die Kenntniss des Streichens der Linie. Dieses richtet sich nach dem Streichwinkel BCX', den eine durch C der OX parallel gezogene Gerade CX' mit CB bildet. Die senkrechte AC heisst in der Regel die Seigerteufe; bezeichnet man sie mit z, die beiden in der Ebene XY gelegenen Koordinaten des Punktes B mit x und y, und endlich die Koordinaten OF und OG des Seigerpunktes mit ξ und η, so gelten, wenn φ und ϑ den Fall- und den Streichungswinkel bedeuten, die folgenden Relationen:

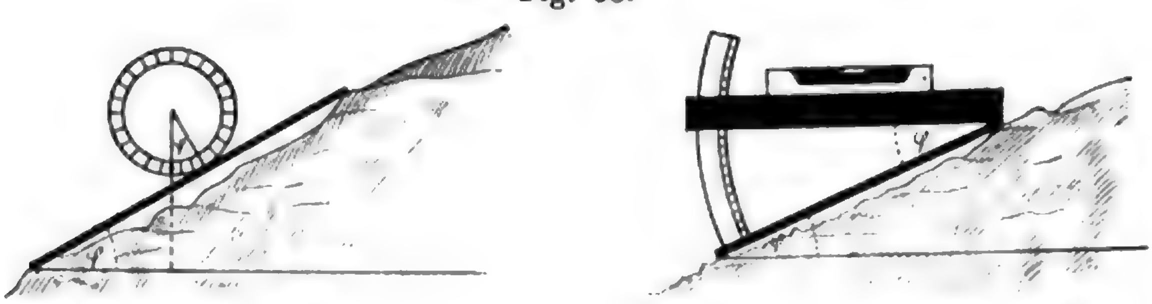
Fig. 92.



$z = AB \,.\, \sin\varphi, \quad y = \eta + AB \,.\, \cos\varphi \,.\, \sin\vartheta, \quad x = \xi + AB \,.\, \cos\varphi \,.\, \cos\vartheta.$

Zum Messen der vorkommenden Winkel bedient man sich gemeiniglich einer Magnetnadel. Der Reisende, der keinen Grubenkompass zur Stelle hat, verwendet zur Bestimmung des Fallwinkels wohl auch das ohnehin mitgeführte Klinometer, sei es, dass dasselbe mit einer Libelle oder auch blos mit einem Bleilothe ausgerüstet ist. In Fig. 93 ist die Anwendung des auch für jeden Bergsteiger nützlichen

Fig. 93.

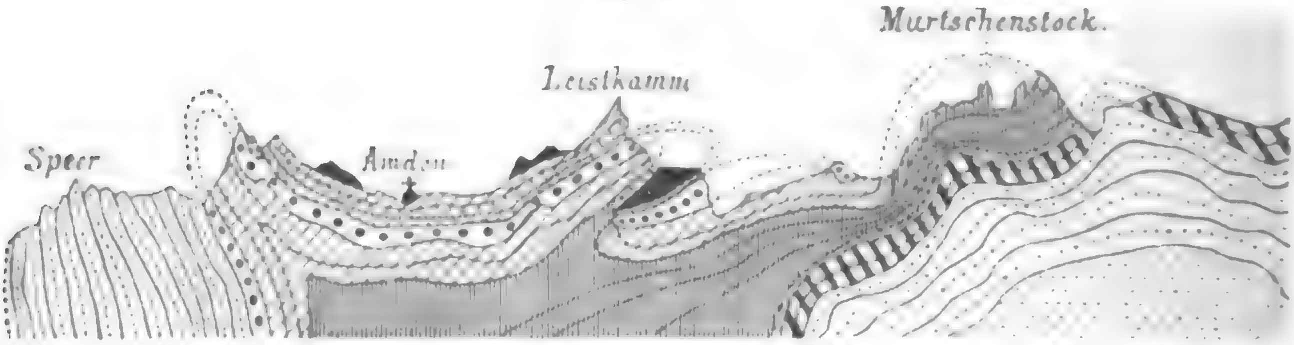


Instrumentchens verdeutlicht, und zwar nach dem von Kaltenbrunner hiefür gegebenen Vorbilde [60]; der Neigungswinkel ist beidemale gleich φ.

Würden, wie es stellenweise ja wirklich der Fall ist, die Schichten in genau parallel-horizontaler Anordnung aufeinanderfolgen, so würde die Bestimmung ihres relativen Alters nicht mit besonderen Schwierigkeiten verbunden sein. Allein schon früher (Band I, S. 326 ff.) mussten wir erfahren, dass sowohl durch instantane vulkanische Störungen als auch durch die aus der langsamen Kontraktion der sich

abkühlenden Erdrinde entfliessenden Beeinträchtigungen des Gleichgewichtes Verwerfungen, Faltungen u. s. w. entstehen, welche die Auffindung des wahren Zusammenhanges oft auf das Aeusserste erschweren. Um diese Arbeit thunlichst zu erleichtern, beschloss der internationale geologische Kongress von Bologna, auf Grund von A. Heim's Preisschrift „Projet d'unification des procédés graphiques dans les cartes géologiques" [61] die geognostische Kartenzeichnung und Namen- wie Farbengebung einheitlich zu gestalten [62]. Mit diesen geologischen Karten selbst aber hat es eine doppelte Bewandtniss. Man kann von einem Theile der Erde einen vertikalen Profildurchschnitt geben, wie es in Fig. 94 geschah; hier sind die in

Fig. 94.



Geognostisches Profil am Wallenstädter See.

Eocän mit Nummuliten. Molasse. Lias. Sonstige Juraformation. Cretaceische Formation. Gault. Schrattenkalk.

einander eingelagerten Schichten deutlich in ihrem Verlaufe zu erkennen, und solche Schichten, welche ersichtlich dereinst zusammengehörten, in ihrem Zusammenhange aber durch irgendwelchen Trennungsprocess unterbrochen wurden, sind durch eine ideale Fortführung — die sogenannten Luftsättel — wieder zu einander in Beziehung gesetzt. Andererseits kann man auch, wenn die Lagerung der Schichten eines Gebirges eine mantelförmige ist, mit Vortheil ein der deskriptiven Geometrie abgeborgtes Verfahren zur Anwendung bringen. Aus jedem Punkte der Kurve, welche eine Schicht an der Aussenseite gegen die benachbarte abgrenzt, denkt man sich ein Loth auf die Horizontalebene gefällt, und jeder so entstehende Cylindermantel schneidet auf jener eine Kurve aus, so dass der das Kurvensystem überblickende Geologe sich ganz ebenso ein Bild von der inneren Zusammensetzung des Gebirgsstockes zu machen im Stande ist, wie man sonst aus der Betrachtung einer Isohypsenschaar auf die wechselnden Böschungsverhältnisse schliesst. Allerdings wird sich diese zweite Methode mehr nur dann empfehlen, wenn die Schichten eine dachförmige oder antiklinale Lagerung besitzen, während die geologischen Durchschnitte ihren Werth unter allen Umständen besitzen, mag nun die Lagerung eine antiklinale oder eine muldenförmige (synklinale) sein. — Die Bestandtheile der Erdrinde sind die mineralischen Massen, welche nach den Bologneser Anordnungen in Bezug auf ihre Beschaffenheit Felsen, in Bezug auf ihren Ursprung Formationen heissen. Mit Rücksicht auf das geologische Alter gilt folgende stratigraphische

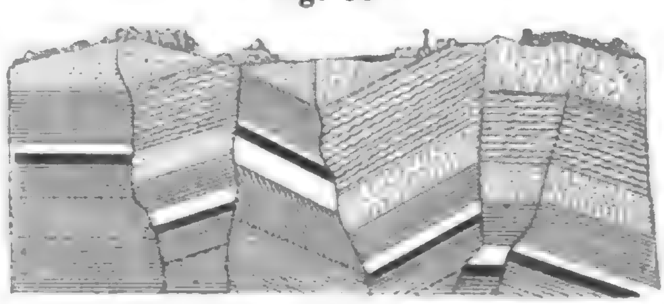
Eintheilung der mineralischen Massen. I. Das Wort Gruppe umfasst drei bis vier grosse Unterabtheilungen. II. Diese Unterabtheilungen tragen den Namen System (z. B. jurassisches System). III. Die Abtheilungen erster Art der Systeme heissen Sektionen oder Serien. IV. Die Abtheilungen zweiter Art der Systeme sind die Stockwerke oder Stufen („étage", „stage", „piano", „pisso"). V. Gliedert man ein System noch weiter, so heissen diese neuen Untergruppen Schichten im engeren Sinne („assise," „couche"). VI. Mehrere Schichten können als Theilstufe („sous-étage") zusammengefasst werden. VII. Das Wort Stratum soll mit Schicht synonym gebraucht werden. Dieses Klassifikationsprincip ist rein räumlich, man kann ein solches aber auch der geologischen Chronometrie entnehmen. Geschieht diess, so gelten die nachstehenden Identitäten:

Aera ≡ Gruppe; Periode ≡ System; Epoche ≡ Serie; Alter ≡ Stufe.

Von der Farbendarstellung wird weiter unten zu sprechen sein.

Nachdem sonach eine Verständigung über die repräsentative Seite des geognostischen Systemes erreicht ist, muss noch die Frage nach den materiellen Hülfsmitteln der Altersbestimmung gestellt werden, die dann anzuwenden sind, wenn, bergmännisch gesprochen, korrespondirende Schichtflächen unter verschiedenen Horizonten liegen, wie es z. B. Fig. 95 zur Anschauung bringt. Kaltbrunner stellt die hiefür dienlichen Gesichtspunkte trefflich zusammen [63]: ein vulkanisches Gestein, welches auf Sedimentgestein lagert, ist älter als dieses; wenn ein Sediment und ein vulkanisches Gestein einander gegenseitig durchsetzen, so ist im Allgemeinen für beide das gleiche Alter anzunehmen, u. dgl. mehr. Allein das weitaus sicherste Mittel der Altersschätzung bietet die Untersuchung der in eine Schicht eingeschlossenen Ueberreste von Organismen, der sogenannten Petrefakten*). Man möchte vielleicht ein-

Fig. 95.



*) H. J. Klein bemerkt [64], dass um die Mitte des XVI. Jahrhunderts zuerst „der geniale Töpfer" Bernhard Palissy die Identität der von ihm gesammelten Versteinerungen mit wirklichen Lebewesen der Vorzeit anerkannt habe. Allein noch vor ihm sprach der noch weit genialere Lionardo da Vinci dasselbe mit wünschenswerthester Klarheit aus. „Der Schlamm des Meeres überzog," so lauten seine Worte in Cantor's Verdeutschung [65], „die Thiere selbst; dann trat das Meer zurück, der Schlamm wurde zu Stein um und in den Muschelschalen, wohin er vorgedrungen war." Solch' klarer Auffassung gegenüber konnte noch in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts ein geistreicher Mann die Frage anregen, ob nicht vielleicht die in Italien selbst auf Bergen und Hochplateaux sich vorfindenden Muscheln den mittelalterlichen Pilgern vom Hute gefallen wären! Und doch hatte um diese Zeit schon der Altdorfer Professor Baier eine in ihrer Art musterhafte Anleitung zur regionalen Petrefaktenkunde geschrieben [66], in welcher er freilich, wie Reess neuerlich urgirte [67], die Belemniten noch als „lusus naturae" registriren zu sollen vermeinte. Derjenige, welcher mit vollem Bewusstsein zuerst darauf drang, die geognostische Schichtenlehre mit der Petrefaktenkunde innig zu verschmelzen, ist, wie leider häufig verschwiegen wird, der

wenden, es sei gegen diese Art der Klassificirung dasselbe Argument geltend zu machen, auf welches gestützt wir oben (S. 235 dieses Bandes und S. 485 desselben) die Humboldt'sche Definition des Klima's und die Peschel'sche Insel-Charakteristik ablehnten, allein hier liegt die Sache doch insoferne ganz anders, als eben ohne Zuziehung der Petrefakten eine halbwegs genügende Lösung überhaupt nicht zu erbringen wäre. Da wir die Geognosie nur als Hülfswissenschaft betrachten, so muss es uns genügen, den Schichtenbau der Erdrinde nur in ganz allgemeinen Zügen vorzuführen. Wir thun diess in schematisch-tabellarischer Form, indem wir die beiden von Peschel-Leipoldt [70] — nach H. Credner — und von Boyd Dawkins [71]*) gegebenen Schemate — die übrigens beide strenge den Lyell'schen Grundsätzen sich fügen — zu einem einzigen Schema vereinigen. Auf der linken Seite unserer Zusammenstellung verzeichnen wir den Namen der bezüglichen Formation nebst kurzem Hinweise auf besonders ausgezeichnete, daselbst zu findende Mineralschätze, und daneben erscheinen als Typen diejenigen pflanzlichen und thierischen Ueberreste, welche der Formation in organographischer Hinsicht ein bestimmtes Gepräge aufdrücken.

§. 6. **Tabelle der Formationsfolge.** Wenn wir von den ältesten Zeiten beginnen, gewinnt unsere Tabelle folgende Gestalt**):

Archaistische Formationsgruppe.

Laurentische Gneissformation. Huronische Schieferformation.	Eozoon Canadense***). Vereinzelte Tange, Graptolithen (?), Krinoideen.

Deutschböhme v. Born gewesen [68]. Auf diese Arbeit ist, wie dem Verfasser gerade noch rechtzeitig vor Abschluss des Druckes bekannt wurde, von Neuem aufmerksam gemacht worden in Studnička's dankenswerthem „Bericht über die mathematischen und naturwissenschaftlichen Publikationen der k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften während ihres hundertjährigen Bestandes“ (1. Heft, Prag 1884. S. 24 ff.). Ebenso bestimmt hatte schon 1735 ein gewisser Billiet in seiner zu Genf unter dem Präsidium des berühmten Mathematikers G. Cramer vertheidigten Dissertation „Specimen physicum de hodierna terrae structura“ sich dahin ausgesprochen: „Les matières hétérogènes, c'est-à-dire les ossemens de divers animaux, les coquillages, les plantes, les poissons etc., contenus dans les assises, désignent évidemment des sédimens formés dans l'eau, qu'il faut nécessairement attribuer au déluge universel.“ An dieser Stelle werden einige Elementarkenntnisse der Lehre von den Versteinerungen und Fossilien vorausgesetzt; zur Erwerbung eines solchen naturhistorischen Wissens dürften sich ganz besonders gut die Schriften von Quenstedt [69] eignen. Weiterstrebenden dient das treffliche Handbuch v. Zittel's.

*) Nach einem vor der Anthropologenversammlung zu Southampton gehaltenen Vortrage.

**) Die archäische Formation erhält nach den Beschlüssen von Bologna ein verschieden abgestuftes Rosa, für die paläozoische Gruppe ist Beschluss ebenso vorbehalten, wie für das Quartär. Trias soll violett, Jura blau, Kreide grün, Tertiär gelb angelegt werden.

***) Nach O. Hahn [72], der ebenso originelle wie sonderbare Ansichten über die Natur der Gesteine aufgestellt hat [73], sind die mit obigem Namen belegten Serpentinknollen, die nach Gümbel und v. Hochstetter auch dem bayrisch-böhmischen Grenzgebirge nicht fehlen, von Logan und Carpenter für Foraminiferen gehalten worden, wogegen King, Rowney, Zirkel und Möbius den organischen Charakter des Fossils überhaupt in Abrede zogen. Hahn selbst entscheidet sich natürlich für die Pflanzennatur desselben.

Paläozoische Formationsgruppe.

Silurische Formation.	Seetange, wirbellose Thiere, spärliche Fische.
Devonische Formation.	Die ersten Gefässkryptogamen, Kephalopoden, Brachiopoden, Fische mit Knochenpanzer.
Karbonische oder Steinkohlen-Formation*).	Entwickelung der Kryptogamen, Spinnen, Insekten, Auftreten der Amphibien (Labyrinthodon).
Dyas oder Zechstein-Formation, I. Untersystem das des Rothliegenden, II. das des Zechsteines.	Verkieselte Farne, Koniferen, Aufhören der Trilobiten, Schmelzschupper, Amphibien und Reptilien (Proterosaurus).

Mesozoische Formationsgruppe.

Trias-Formation**) mit den Sektionen Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper.	Schachtelhalme, Nadelhölzer, Ammoniten, Meeres- und Froschsaurier, Vogelspuren, Beutelthier-Art.
Jura-Formation mit den Sektionen des schwarzen, braunen und weissen Jura (Lias, Dogger und Malm).	Kryptogamen, Koniferen, Cykadeen, Ammoniten, Belemniten, Riffkorallen, Fischsaurier, Archäopteryx von Solnhofen (Vogel oder Reptil?).
Kreide-Formation mit den Sektionen Neokom, Gault, Cenoman, Turon und Senon.	Neben zahlreichen Kryptogamen die ersten Laubhölzer, Foraminiferen, Schwämme, die Meereidechse Mosasaurus (von Maestricht).

---

*) Die Steinkohlenbildung ist nichts anderes als ein Vermoderungsprocess, indem Pflanzenstoffe bei Gegenwart von Wasser und bei gehindertem Luftzutritt sich entmischen. Der Unterschied von Braun- und Schwarzkohlen ist kein sehr scharfer; doch sind Braunkohlenlager gewöhnlich daran zu erkennen, dass in Verbindung mit ihnen harzige und bituminöse Stoffe, namentlich der berühmte Bernstein, das „Elektron“ der Alten, vorkommen [74]. Die Bernstein führenden Schichten Europa's erstrecken sich von der Ostsee bis nahe zu der Quelle der Weichsel. Mit den Schwarzkohlen vergesellschaftet treten uns entgegen gewisse Kohlenwasserstoffverbindungen, namentlich das Stein- oder Erdöl (Petroleum), dessen reinste, namentlich den Kaukasusgegenden eigenthümliche Varietät Naphtha heisst, während als seine Abarten Bergtheer und Asphalt gelten müssen [75]. Die aus reinem Kohlenstoff bestehende (bitumenfreie) Kohle ist als Anthracit bekannt. Peschel hat uns eine sehr dankenswerthe Statistik der annoch im Schoosse der Erde ruhenden Kohlenschätze geliefert [76], die aber neuerlich manche Bereicherungen erfahren hat. Namentlich China kommt hiebei in Frage, ein Land, für welches die in England erst unter Eduard I. anerkannte Kohle schon lange vorher ihre segensreiche volkswirthschaftliche Bedeutung geoffenbart hat, denn nach v. Richthofen [77] erzählen Ibn Batuta und Marco Polo von dem daselbst als Feuerungsmaterial verwendeten schwarzen Steine wie von einer längst bekannten Sache. Dem genannten Autor zufolge hat das Kohlenbecken von Peking keine grosse Zukunft, wohl aber der Anthracit der Tatsau-Gruben.

**) In der Trias, dem Salzgebirge der älteren Halurgen, sind die reichsten Steinsalzlager anzutreffen. Ausschliesslich eigenthümlich sind sie demselben freilich nicht; die Bergwerke von Wielizka liegen z. B. im Tertiär, einzelne nordamerikanische kommen im Silur vor. Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen über Salz führende Gebirge stellte der Berner F. S. Wild an [78], und zwar ist seine Leistung eine um so verdienstlichere, als er an den ihm bekannten Stellen

Känozoische Formationsgruppe.

Tertiär-Formation, zerfallend in 4 Sektionen:		
Eogen	Eocän. Oligocän.	Die placentalen Säugethiere fangen an, durch Formen vertreten zu sein, welche an diejenigen der Gegenwart anklingen; Erscheinen der Lemuriden und Simiaden, ausserdem noch Paläotherium und Xiphodon; Europa's Flora ist tropisch, Braunkohlenlager und Sedimente sind häufig.
Neogen*)	Miocän. Pliocän.	Erscheinen gewisser unverändert bis heute erhaltener Arten, besonders der südeuropäischen Simiaden; Mastodon, Dinotherium, Ausbreitung der Laubhölzer.
Quartär-Formation, zerfallend in Diluvium und Alluvium, deren		Höhlenbär, Mammuth, Riesenhirsch, Auftreten des Menschen**) (paläo-

gar nicht bis auf den eigentlichen Salzfelsen hinab gelangte, was vielmehr erst 1823 Charpentier gelang. Später pflegten diesen Theil der Geologie Franklin, Claiss und vor Allem A. v. Humboldt, dessen kartographische Darstellung der deutschen Salzquellen leider in den Akten des preussischen Berg-Departements begraben zu sein scheint [79]. Er glaubte sich zu der freilich wohl utopischen Hoffnung berechtigt, dass man gewisse Linien auf der Karte müsse ziehen können, auf welchen von Meile zu Meile ein Salzlager gelegen sei.

*) Die zweite Hälfte der Tertiärzeit, die eine grossartige Entwickelung der eruptiven Erdthätigkeit sah, war der Bildung goldführender Gänge, wie v. Richthofen zeigt [80], besonders günstig, obwohl an sich das Gold bezüglich seines Vorkommens an gar keine bestimmte Formation gebunden ist. Die Edelmetalle haben, wie z. B. ein interessanter Akademie-Vortrag Baumgartner's beweist [81], ihre unvergängliche Bedeutung als Werthmesser und Tauschmittel, und kein anderes Metall kann, diess lehrt klärlich das von Humboldt vorausgesagte Fiasko des russischen Platingeldes [82], dauernd mit jenen konkurriren. Humboldt's Werk über Mexiko [83] begründete die moderne Edelmetall-Statistik, um deren Betrieb sich später Soetbeer besonders verdient gemacht hat. Ihm zufolge wird der Fortschritt der Gewinnung edler Metalle geschichtlich so dargestellt [84]:

Zeit.	Silber in kg.	Gold in kg.	Millionen-Gesammtbetrag in Mark.
1493—1520	47 000	5 800	25
1601—1620	422 000	8 520	100
1701—1721	355 000	12 820	100
1801—1810	894 000	17 778	211
1871—1875	1 969 000	170 675	831

Suess' „Zukunft des Goldes" (Wien 1877) beseitigt alle Befürchtungen über Erschöpfung der Goldvorräthe, wenigstens für eine absehbare Zeit, denn eine schliessliche Erschöpfung der Vorräthe muss nach ihm als möglich gelten.

**) Whitney will den Menschen mit seinen Anfängen, wohl mit Unrecht, bereits in's Pliocän verlegen [85]. Dass der paläolithische Mensch seine Spuren nie innerhalb vergletscherter Gebiete, sondern höchstens an deren Saume zurückgelassen hat, betrachtet Penck [86] als einen wichtigen Wahrscheinlichkeitsbeweis für dessen Koexistenz mit der Eiszeit, ja der genannte Forscher hält es [87] sogar nicht für unmöglich, dass es auch präglaciale Menschen gegeben habe.

ersteres die sogenannte Eiszeit enthält, während das letztere in die historische Zeit und Gegenwart hereinreicht; nach Dawkins einzutheilen in das Plistocän (das Lyell'sche Postpliocän) und in die prähistorische Zeit.

lithischer oder Flusskies-Jäger), Abfallhaufen, Höhleninhalt, Sedimente, submarine Wälder, Blocklehm und Moränenreste, Meersand, dann allmählig Zeichen, die auf Hausthiere, Kulturfrüchte, Gewerbe, Handel, verbesserte Waffen*) hinweisen.

Hiemit sind wir zu unserer gegenwärtigen Bodendecke und zur geschichtlichen Zeit gelangt. Die Geophysik als solche stützt sich auf die Schichten-Klassifikation der Geologen, ist aber selbst unmittelbar — ausser bei den schon vielfach besprochenen Alluvialbildungen — nur bei gewissen diluvialen Formationen interessirt, welche deshalb noch in einem eigenen Paragraphen der Erörterung zu unterziehen sind.

§. 7. **Die Geschiebe-Formation und die subaërische Formation.** Wir sprachen oben davon, dass das Quartär vielfach sogenannten Blocklehm und die Rudera alter Gletschermoränen aufweise. Alle diese Gebilde gehören der „Geschiebe-Formation" der Glacialperiode an und finden mit anderen verwandten Dingen ihre eingehende Besprechung im dritten Kapitel dieser Abtheilung.

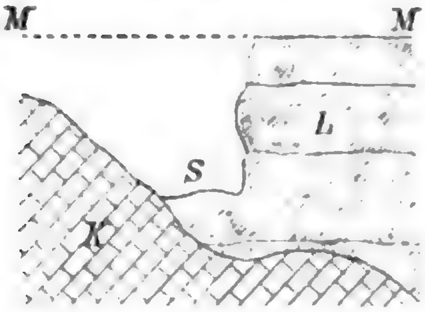
Des Ferneren aber begegnen wir im Quartär auch gewissen diluvialen Lehmablagerungen, für welche schon von je die agronomische Bezeichnung „Löss" üblich ist. Man hatte denselben in Europa vielfach an Thalgehängen aufgefunden, meistentheils in Form eines gelblichen, leicht zerreib- und knetbaren Kalkschlammes, wohl auch als feinen Lösssand, mit oder ohne Einbettung rundlicher Rollsteine, der sogenannten Lösskindel. Die mikroskopische Prüfung von Lössmassen ergab das übereinstimmende Resultat, dass nur die Reste von Landschnecken, nicht aber von Süsswasserthieren darin vorkommen, so dass derselbe unmöglich als Rückstand früherer wässriger Lösungen angesehen werden kann. Etwas anders verhält sich nach Ratzel [88] der amerikanische Löss („Bluff-Silt"), welcher von den dortigen Geologen als das Kennzeichen ihrer „Champlain-Periode" aufgefasst wird und, namentlich am unteren Mississippi, auf eine theilweise marine Vergangenheit hinweist. Man nimmt an, dass die Bildung des Löss dortselbst in stagnirenden und nachher durch eine darüber hingegangene Fluthwelle salzig gewordenen Gewässern vor sich gegangen sei.

Während bei alledem in Europa und Nordamerika der Löss hauptsächlich als fruchtbare Ackererde das Interesse der Forscher auf sich gezogen hatte, offenbarte er sich mit einem Male in Centralasien als ein geologischer Faktor von höchster Bedeutung. Der zweite Band des grossartigen Reisewerkes v. Richthofen's lehrte uns den

*) Dem paläolithischen Zeitalter folgt das neolithische und diesem die schon stark in die Periode der schriftlichen Ueberlieferung eingreifende Bronzezeit. L. Beck freilich (Die Geschichte des Eisens, Braunschweig 1884) und O. Schrader (Sprachvergleichung und Urgeschichte, Jena 1883) wollen eine „Bronzezeit" nur sehr bedingt gelten lassen, eher eine „Kupferzeit".

Löss von dieser neuen Seite kennen, und v. Middendorff lieferte wichtige Bestätigungen [96]. Sowohl an der Westseite des Pamir-Plateau's (im alten Sogdiana), als auch im östlichen und nördlichen China hat der Löss Konglomerate von einer Mächtigkeit bis zu 700 m gebildet. Dörfer sind in diese Masse hineingebaut, Strassen mussten mit Mühe durch sie gebrochen werden. v. Richthofen bemerkt [90], dass keine Gegend sich besser unter dem strategischen Gesichtspunkte zur Vertheidigung ihrer Engpässe und Hohlwege eigne, wie eben eine Lössgegend. Unsere Fig. 96 stellt, nach dem genannten Gewährsmann, eine Strassenanlage jenes Territoriums dar; K ist anstehender Kohlenkalkstein, L geschichteter Löss, der ehedem bis zur Grenze MM reichte, aber zu Gunsten der beide Formationen zugleich angreifenden Landstrasse S sich eine Verkleinerung gefallen lassen musste. Die staubfeine Masse enthält nichts als Reste von Steppengräsern und von Landschneckengehäusen.

Fig. 96.



Auf diesen Befund hin entwickelte v. Richthofen eine speziell den asiatischen Verhältnissen angepasste Theorie der von ihm als äolisch oder subaërisch bezeichneten Lössformation. Diese Staubmassen sind das Verwitterungsprodukt der mit der Luft in Berührung stehenden Gebirgsschichten; die den Chinesen wohlbekannten Staubwinde führen die pulverförmigen Massen fort und lagern sie in Mulden und Thälern ab. Die Feuchtigkeit des Winters thut das Ihrige, um die dünne, im Laufe des Sommers neu hinzugekommene Schicht zu verfestigen; der Frühling treibt wohl Pflanzen hervor, allein dieselben vertrocknen im Sommer wieder und sind bald durch die sommerliche Zufuhr begraben. Das Wachsthum der Lössablagerungen geht in Folge dessen mit so grosser Regelmässigkeit vor sich, dass man es, wie jenes der Tropfsteingebilde, einer Berechnung unterstellen kann. Die Mongolei liefert für v. Richthofen [91] den besten Beweis für die Richtigkeit seiner Lösstheorie. Kurz zusammenfassend können wir sagen: Viele Lössländer waren früher abflusslose Steppen, welche die Schuttausfüllung ihrer Depressionen und die Lössbedeckung in ihrer Mitte in geringerem Maasse der Abspülungsthätigkeit des Wassers, in stärkerem der Transportationskraft der Staubwinde zu danken haben*).

Es giebt auch andere Stoffe, die hinsichtlich ihrer allgemeinen physikalischen Eigenschaften und ihrer landwirthschaftlichen Bedeutung sich wohl dem Löss an die Seite stellen können**). Allein als gestalt-

*) Im anthropogeographischen Abschnitte werden wir sehen, welch' geistvolle Schlüsse geschichtlicher Art Meitzen [92] auf diese Theorie der Lössbildung begründete.

**) Wir meinen hier besonders die Südrussland eigenthümliche Schwarzerde, mit der sich E. E. Schmid beschäftigt hat [93]. Auch sie ist durch Verwitterung entstanden, ein graubraunes Staubpulver mit eingestreuten rundlichen Knollen. Ehrenberg'sche Phytolithen kommen, obzwar in geringer Menge, in ihr vor. „Die Schwarzerde," sagt Schmid (a. a. O.), „passt nicht in unser System der Bodenkunde hinein". Neuere Mittheilungen hierüber sind uns durch die russischen Geologen Agapitoff und Bogdanoff geworden [94], welch' letzterer

bildendes Moment kommen sie nicht besonders in Betracht, und so bilden sie denn auch einen wichtigen Untersuchungsstoff zwar für die Bodenkunde*), nicht aber eigentlich für die physikalische Geographie.

[1] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, 4. Band, 2. Abtheilung, Leipzig 1828. S. 1245 ff. — [2] Zöckler, Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft, 2. Abtheilung, Gütersloh 1879. S. 130 ff. — [3] Ibid. S. 123. — [4] Daubrée, Descartes l'un des créateurs de la cosmologie et de la géologie, Paris 1880. — [5] Leibniz, Protogaea, sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis, ed. Scheidt, Gottingae 1748. — [6] Steno, De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus, Lugduni Batavorum 1679. — [7] Élie de Beaumont, Fragments géologiques tirés de Stenon, de Kazwini, de Strabon et de Boun-Debesch, Ann. des sc. natur., Vol. XXV. S. 337 ff. — [8] Daubrée, Descartes etc., S. 8. — [9] Moro, De' crostacei e degli altri marini corpi, che si trovano su' monti libri due, Venezia 1740; deutsch, Leipzig 1751. — [10] Whitehurst, Inquiry into the original state and form of the earth, London 1770; deutsch, Leipzig 1788. — [11] Woodward, Naturalis historia illustrata et aucta, una cum defensione contra El. Camerarium, Londini 1714; franz., Amsterdam 1735. — [12] Joh. Woodward's Physische Erdbeschreibung oder Versuch einer natürlichen Geschichte des Erdbodens, Erfurt 1744. S. 79. — [13] Ray, Physico-theological discourses concerning the primitive chaos, the general deluge and the dissolution of the world, London 1692. — [14] Pallas, Observations sur la formation des montagnes et les changemens arrivés au globe, St. Pétersbourg 1777. — [15] J. E. Silberschlag, Geogonie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen, Berlin 1780. — [16] Ibid. S. 26. — [17] G. C. Silberschlag, Neue Theorie der Erde, Berlin 1764. — [18] Reyer, Neptunisch oder plutonisch?, Gaea, 19. Jahrgang. S. 140 ff. — [19] Mathesius, Sarepta oder Berg-Postill, darinnen von allerlei Bergwerk und Metallen Bericht erstattet wird, Nürnberg 1562. — [20] v. Trebra, Erfahrungen vom Inneren der Gebirge, Dessau und Leipzig 1786. — [21] Strange, On two giants causeways or groups of prismatic basaltine columnes and other curious volcanic concretions in the Venetian state in Italy, London 1775. — [22] Sandberger, Untersuchungen über Erzgänge, Wiesbaden 1882. — [23] Reyer, Neptunisch etc., S. 157 ff. — [24] Pošepný, Geologische und montanistische Studien über die Erzlagerstätten von Rézbánya, Budapest 1874. — [25] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 240. — [26] A. v. Humboldt, Mineralogische Bemerkungen über einige Basalte am Rhein, Braunschweig 1790. — [27] Goethe, Sämmtliche Werke in vierzig Bänden, 40. Band, Stuttgart 1869. S. 53. — [28] A. Werner, Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten, Dresden 1787; Neue Theorie von der Entstehung der Gänge, Freiberg 1791. — [29] Deluc, Lettres sur l'histoire physique du globe, Paris 1779. — [30] Cuvier, Discours sur les révolutions du globe, Paris 1812; deutsch von Nöggerath, Bonn 1822. — [31] Buckland, Reliquiae diluvianae, Londini 1823. — [32] Jameson, Essay on the theory of the earth by Baron G. Cuvier, with geological illustrations, London 1827. — [33] Lamarck, Hydrogéologie ou recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre, Paris 1802. — [34] A. Lang, Lamarck

in Daghestan Berge von 9000 m Höhe, einzig und allein aus Schwarzerde bestehend, gefunden haben will (?). Es scheint, dass dieser Stoff als eine recentere Varietät des Löss wird anerkannt werden müssen.

*) Dieser Wissenszweig steht nach seiner geologisch-chemischen Seite hin kaum mehr mit der physischen Erdkunde in Verbindung. Etwas mehr kann eine solche für den jüngsten Spross der Bodenkunde, die Bodenphysik, in Anspruch genommen werden. Dieselbe trat erst vor Kurzem in die Reihe der exakten Disciplinen ein, denn seit Schübler war sie, wie ein interessanter Essay v. Liebenberg's [95] ausführt, stationär geworden, und erst seit etwa 15 Jahren ist neues Leben in sie gekommen, hauptsächlich durch die Arbeiten des genannten Autors über die Bedeutung der Bodentemperaturen [96], durch diejenigen A. Mayer's [97] über das Wasser im Boden und durch diejenigen Wollny's [98] über den Zusammenhang zwischen Färbung und Wärmekapazität des Bodens. Der letzteren gedachten wir bereits in der Forstmeteorologie (S. 243 dieses Bandes).

und Darwin, ein Beitrag zur Geschichte der Entwickelungslehre, Kosmos, 1. Band, S. 250. — [35] J. Hutton, Theory of the earth, Edinburgh 1795. — [36] Playfair, Illustrations of the Huttonian therory of the earth, Edinburgh 1802. — [37] J. Hall, Experiments on whinstone and laves, Transact. of the Edinb. Society, Vol. V. S. 43 ff. — [38] Dolomieu, Sur la question de l'origine du basalte, Journ. de phys., Vol. XXXVII.; Sur un genre de pierres calcaires très-peu effervescentes avec les acides et phosphorescentes par la collision, ibid. Vol. XXXIX. — [39] Breislak, Memorie sulle osservazioni fatte da celebri geologi posteriormente a quello di Conte Marzavi intorno alla giacitura di graniti di Tirolo meridionale, Milano 1824. — [40] H. J. Klein, Entwickelungsgeschichte des Kosmos, Braunschweig 1870. S. 15. — [41] Sendschreiben des Oberbergraths N. Fuchs an Andr. Wagner, München 1844. — [42] Schafhäutl, Die Geologie in ihrem Verhältnisse zu den übrigen Naturwissenschaften, München 1843. S. 64 ff. — [43] G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, Bonn 1847—1855. — [44] D'Aubuisson, Traité de géognosie, Vol. II., Strasbourg 1819. S. 650 ff. — [45] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 3. — [46] Lyell, Principles of geology, London 1833. — [47] Lyell, Manual of geology, London 1838. — [48] Klein, Entwickelungsgesch. etc., S. 21 ff. — [49] Kner, Leitfaden zum Studium der Geologie mit Inbegriff der Paläontologie, Wien 1851. — [50] Naumann, Lehrbuch der Geognosie, Leipzig 1858—1860. — [51] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1872; 2. Aufl., ibid. 1876. — [52] F. Pfaff, Schöpfungsgeschichte mit besonderer Berücksichtigung des mosaischen Schöpfungsberichtes, Frankfurt a. M. und Erlangen 1858. S. 311. — [53] O. Lang, Grundriss der Gesteinskunde, Göttingen 1878. — [54] Pfaff, Schöpfungsgesch. etc., S. 316. — [55] Naumann, Lehrbuch etc., 1. Band. S. 443. — [56] Agricola, Vom Bergwerck zwölf Bücher, Basel 1557. — [57] Reinhold, Vom Marscheiden kurtzer unnd gründtlicher Unterricht, Erfurt 1574. — [58] v. Oppel. Anleitung zur Markscheidekunst. Dresden 1749. — [59] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, 2. Band, Stuttgart 1879. S. 414 ff. — [60] Kaltbrunner-Kollbrunner, Der Beobachter, Zürich 1882. S. 55 ff. S. 320. — [61] Congrès géologique international, compte rendu de la 2^{me} session, Bologne 1882. S. 281 ff. — [62] Ibid. S. 196 ff. — [63] Kaltbrunner, Der Beobachter, S. 335 ff. — [64] Klein, Entwickelungsgesch. etc., S. 105. — [65] Cantor, Lionardo da Vinci, Westermann's Monatshefte, (3) 12. Band. S. 375. — [66] Baier, Oryctographia Norica, Norimbergae 1708. — [67] Reess, Ueber die Pflege der Botanik in Franken von der Mitte des XVI. bis zur Mitte des XIX. Jahrhunderts, Erlangen 1884. S. 54. — [68] v. Born, Ueber die Anwendung der Conchylien- und Petrefaktenkunde auf die physikalische Erdbeschreibung, Abhandl. einer Privatgesellsch. in Böhmen, 4. Band. S. 305 ff. — [69] Quenstedt, Handbuch der Petrefaktenkunde, Tübingen 1852; Sonst und jetzt, populäre Vorträge über Geologie, ibid. 1856. — [70] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1879. S. 337 ff. — [71] Dawkins, Das Alter des Menschengeschlechtes, Gaea, 18. Jahrgang. S. 728. — [72] O. Hahn, Das Eophyllum im Laurentian-Kalk von Canada, Ausland 1879. S. 561 ff. — [73] O. Hahn, Die Urzelle, Tübingen 1879. — [74] Kner, Leitfaden etc., S. 88. — [75] Ibid. S. 91. — [76] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., S. 339 ff. — [77] v. Richthofen, China, 2. Band, Berlin 1882. S. 333 ff. — [78] F. S. Wild, Recueil concernant les mines de sel et les salines, particulièrement celles du canton de Berne, Berne 1792—1795; Essai sur la montagne salifère du gouvernement d'Aigle, Genève 1788. — [79] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, 3. Band, Leipzig 1872. S. 109. — [80] v. Richthofen, Ueber das Alter der goldführenden Gänge und der von jenen durchsetzten Gesteine, Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch., 21. Band. S. 723 ff. — [81] Baumgartner, Die edlen Metalle und ihre natürliche Rangordnung als Geldstoffe, Wien 1857. — [82] Bruhns, A. v. Humboldt, S. 435. — [83] Humboldt, Essai politique sur le royaume de la Nouvelle-Espagne, Paris 1811. — [84] Soetbeer, Edelmetallproduktion und Werthverhältniss zwischen Gold und Silber seit der Entdeckung Amerika's bis zur Gegenwart, Ergänzungsheft Nr. 57 zu Petermann's geogr. Mittheil., Gotha 1879. — [85] Dawkins, Das Alter etc., S. 730. — [86] Penck, Mensch und Eiszeit, Braunschweig 1884. S. 6. — [87] Ibid. S. 16. — [88] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 135. — [89] v. Middendorff, Einblick in das Ferghana-Thal, St. Petersburg 1881. — [90] v. Richthofen, China, 2. Band. S. 372. — [91] Ibid. S. 348 ff. — [92] Meitzen, Das Nomadenthum der Germanen und ihrer Nachbarn in Westeuropa, Verhandl. des II. d. Geographent., Berlin 1882. S. 73 ff. — [93] E. E. Schmid, Ueber die Schwarzerde im südlichen Russland, Bull. de la cl. phys.-math. de l'ac.

imp. de St. Pétersbourg, Vol. VIII. S. 161 ff. — [94] Ueber Löss und Schwarzerde, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Jahrgang. S. 244 ff. — [95] v. Liebenberg, Ueber den gegenwärtigen Standpunkt der Bodenphysik, (Wollny's) Forsch. auf dem Geb. d. Agrikulturphysik, 1. Band. S. 1 ff. — [96] v. Liebenberg, Untersuchungen über Bodenwärme, Halle 1875. — [97] A. Mayer, Untersuchungen über das Verhalten des Wassers zum Boden, Halle 1873. — [98] Wollny, Untersuchungen über den Einfluss der Farbe des Bodens auf dessen Erwärmung, Forsch. auf dem Geb. d. Agrikulturphysik, 1. Band. S. 60 ff.

Kapitel II.

Orographischer Bau und Bodenplastik der Erdfeste.

§. 1. **Die Begründung der Lehre von den Reliefformen durch Humboldt.** Die wissenschaftliche Betrachtung der Erdgebirge gehört ganz der Neuzeit an; schon früher haben wir (Bd. I, S. 16) auf die Schwierigkeiten hingewiesen, welche sich derartigen Untersuchungen entgegenstellten. So oft wir in früheren Perioden Versuche antreffen, auch diesen Theil der allgemeinen Erdkunde rationeller an- und aufzufassen, ebenso oft werden dieselben durch die Sucht naturphilosophischen Schematisirens vereitelt. Der sonst so kritische Eratosthenes schadete der richtigen Erkenntniss ungemein durch das von ihm ausgeklügelte Diaphragma, welches als kontinuirliche, von den Säulen des Herkules bis zum fernsten Scythenlande zu verfolgende Bodenschwellung die γῆ οἰκουμένη in eine Nord- und Südhälfte zerlegen sollte [1] und diese seine imaginäre Eigenschaft, zum entschiedensten Schaden der Länderkunde, bis tief in's XVII. Jahrhundert hinein bewahrte [2]. In eine andere Kategorie montanistischer Phantasmen gehört der in der Kirchenväterzeit viel besprochene „Judenwall", der Iran gegen Turan abgrenzen sollte [3]. Auch von den Arabern, unter denen Albîrunî und Demitscki einige Neigung zur Zusammenstellung der Gebirgszüge nach gewissem Systeme an den Tag legten, kann Peschel im Allgemeinen nur konstatiren, dass sie sich wenig um die vertikale Gliederung der Erdoberfläche gekümmert hätten [4]. Etwas besser, meint derselbe Autor [5], habe es bei den Scholastikern ausgesehen; wenigstens deuten die Angaben Odorico's und Ruysbroek's über die Gebirge von Hocharmenien und Centralasien auf richtigen Beobachtungssinn hin. Die Gebirgskunde litt damals und noch lange an dem Uebelstande, dass man sich fast ausschliesslich für die höchsten Gipfel interessirte, welche doch in keiner Weise bestimmend auf den Allgemeincharakter eines Gebirges einwirken können*). Aus diesem Grunde hatte auch die physische Geographie als solche nicht eben besonderen Vortheil von den raschen Fortschritten der Höhenmessung und von den Erweiterungen des geographischen Horizontes in Südamerika und im Himálaya, durch welche der Montblanc die ihm bisher beigelegte Eigenschaft einbüsste, die höchste Erhebung der Erde zu sein.

*) Nach der didaktischen und anthropogeographischen Seite hin wird dieser Gedanke von E. Richter drastisch, aber zutreffend, weiter ausgeführt [6]: „Ein Pass im Gebirge ist wichtiger für den Menschen, als alle Gipfel."

Um die Mitte des XVIII. Jahrhunderts beginnt ein Umschwung zum Besseren sich anzubahnen. Die ein neues Programm der „géographie physique“ aufstellende Abhandlung von Buache [7] ist, wie wir schon mehrfach hervorheben mussten, nicht frei von nachtheiligen Absonderlichkeiten, allein für die schärfere Charakteristik der geographischen und zumal der geoplastischen Begriffe ist doch durch sie vieles geleistet worden; ihr sind die Definitionen des wasserscheidenden Gebirgszuges und des Plateaulandes zu danken [8]. Gleich bei Kant begegnen wir Eintheilungen, die auf Buache's Einfluss hinweisen: „bei der natürlichen Anlage des festen Landes sind drei Stücke vornämlich zu merken: 1. die Landrücken, 2. die Bassins*) und 3. die Platteformen“ [9]. Allein es waren eben erst Anfänge; die geographische Spekulation begnügte sich nicht mit solch' ernsten, aber anspruchslosen Keimen, sondern suchte gleich mit Einem Schlage alle Probleme zu lösen, wie denn F. Schultz [10] ein Schema des europäischen Gebirgssystemes lediglich auf die hydrographische Karte des Erdtheiles begründen wollte.

Es war A. v. Humboldt, der, was wir ihm schon im ersten Bande (S. 21) zum unvergänglichen Verdienste anrechneten, die Gebirgskunde zuerst rein deskriptiv und onomatologisch auf eigene Füsse zu stellen begann, denn deutlich hatte sich ihm die Erkenntniss aufgedrängt, dass die physikalische Lehre von den bei der Gebirgsbildung thätigen Kräften erst nach Erledigung jener Vorfragen betrieben werden könne*). Humboldt's Leistungen auf diesem Gebiete hat mit Meisterhand Peschel, für den ja Studien dieser Art etwas besonders Anziehendes hatten, gezeichnet [15]; der erste Band der „Kleinen Schriften“ enthält das thatsächliche Material, doch sind bezügliche Angaben auch in anderen Humboldt'schen Schriften zu finden. Jene längs der Longitudinalaxe eines Gebirgszuges gemachten Vertikaldurchschnitte, auf welche Pasumot (Band I, S. 292) die Aufmerksamkeit der zeichnenden Geographen zuerst hingelenkt hatte, boten auch für Humboldt den Ausgangspunkt. Indem er die bisher fast ausschliesslich gemessenen und untersuchten Gipfelhöhen nur als ein einzelnes Element, Pass- und Kammhöhen aber als gleichberechtigte orographische Elemente aufzufassen lehrte, gewann er zugleich die Mittel, mit Hülfe von relativ wenigen Zahlenwerthen ein für den Kenner vollkommen anschauliches Bild von dem individualistischen Gepräge eines Gebirgssystemes entwerfen zu können**). Wir verweilen bei

---

*) Die Arbeiten von Desmarest [11], Otto [12], J. C. Zimmermann [13] mussten zeigen, wie nothwendig eine solche bisher mangelnde Grundlage sei. Ihnen allen gemeinsam war nach H. Berghaus das — freilich unbewusste — Bestreben, „an die Stelle der wirklich beobachteten Erscheinungen die Gebilde einer irregeleiteten Einbildungskraft zu setzen“ [14].

**) „Noch jetzt müssen wir staunen, dass es Humboldt dadurch gelang, das Physiognomische einer Gebirgserhebung auf einfache Zahlenausdrücke zurückzuführen; denn wenn die Kammhöhe der Pyrenäen noch um 300 Fuss die Kammhöhe der Alpen überragen kann, während doch der höchste Gipfel der letzteren fast um die Hälfte noch höher ist, als der Pic Nethau, so spiegeln sich in solchen Ziffern die Grundzüge beider Gebirge deutlich ab, denn die Pyrenäen werden wir uns mit mauerartigen Umrissen ohne hochstrebende Gipfel oder tiefe Lücken, die Alpen im Gegentheil aufgeschlossen von bequemen Pässen und verherrlicht durch kühne Bergformen vorstellen müssen“ [16].

Humboldt's Terminologie in dieser Einleitung deshalb nicht länger, weil dieselbe heute zu den gesicherten Besitzthümern unserer Wissenschaft gehört, und erwähnen nur noch, dass diese Seite der Thätigkeit des grossen Naturforschers mit seinen uns bereits bekannten Bemühungen um die mittlere Höhe der Kontinente in allerengster Beziehung steht.

Humboldt hatte die Freude, zu sehen, dass der von ihm ausgestreute Same auf guten Boden fiel. Früh im neuen Jahrhundert erschien das achtbare Werk [17] Ebel's, eines genauen Kenners der Alpen, und in ihm ist manch' richtiger Satz formulirt, darunter einer, der uns demnächst in allgemeiner Fassung wieder begegnen wird. Die erste Systematik der Reliefformen des Festlandes lieferte (vgl. S. 338 dieses Bandes) Börsch in Marburg [18]. Hier werden „Hochland" und „Niederung", „wesentliche" und „unwesentliche" Gebirgstheile scharf geschieden; was Rücken-Abfall, Fuss, Joch, Mulde, Platte, Pass ist, wird zu definiren versucht; schliesslich liefert der Verfasser eine Klassifikation der Gebirge nach Längenausdehnung, Durchschnittshöhe, Gestalt, Zusammenhang und Pflanzenbedeckung. Als geographischen Faktor brachte die Gebirge Carl Ritter zu ihrer Ehre; genaue morphographische Schilderung derselben ist ihm Herzenssache, und oft erheben sich seine berühmten „Vergleiche" zwischen verschiedenen Gebirgsländern zu hohem, wo nicht allzugenialem Schwunge, wie uns z. B. die von ihm zwischen Südamerika und dem indischen Dekhan gezogene Parallele [19] beweisen kann.

§. 2. **Die orographischen Fundamentalbegriffe.** In A. v. Humboldt's Fussstapfen trat mit Geschick und Takt ein der auf allen Gebieten der wissenschaftlichen Erdkunde gleich bewanderte österreichische Offizier Sonklar v. Innstädten, den gerade während der Niederschrift dieser Zeilen ein allzu früher Tod von seinem gesegneten Arbeitsfelde abrief. Er begann, einzelne Gebirgsgruppen in seinen geliebten Alpen als Individuen herauszugreifen und als Individuen zu schildern, und indem er so seine trefflichen Monographieen einer Anzahl besonders hervortretender Bergsysteme erscheinen liess [20], gewann er allmählig jene Anschauungen, auf die er ein streng wissenschaftliches Lehrbuch der von ihm als Orographie scharf umschriebenen Disciplin zu begründen sich befähigt fühlte [21]*). Was wir im Folgenden geben, ist wesentlich nur ein Auszug aus diesem mustergültigen Werke, welches sich seine autoritative Stellung innerhalb des von Humboldt mit dem Namen stereometrische Geognosie gekennzeichneten Bereiches wohl für ferne Zukunft bewahren wird, wogegen allerdings nicht geleugnet werden kann, dass die dynamisch-geologischen Ansichten v. Sonklar's — seine Orogenie — von Einseitigkeit nicht freizusprechen ist und deshalb nicht mit gleich

*) Wir bemerken hier gleich, dass v. Sonklar mehrere Nachfolger gefunden hat, welche bei Anwendung seiner Methoden dieselben im Einzelnen noch verbessert haben. Hierher rechnen wir v. Barth und Pfaundler [22] und vorzüglich Waltenberger, dessen Arbeiten [23] allerorts die Hand des gründlich geschulten Geodäten bekunden. Allein auch harmlose kleine Gebirgsschilderungen, wie sie die touristischen Journale bringen, lassen mehr und mehr das Eindringen des durch v. Sonklar geweckten und gepflegten Sinnes für Exaktheit in weitere Kreise erkennen.

gutem Gewissen in einem Werke, wie dem vorliegenden, als Basis der Darstellung gewählt werden könnte*).

Nach kurzer Erwähnung des uns von früher bekannten Unterschiedes zwischen absoluten und relativen Höhen und nach Aufzählung der für einige Gipfel gemessenen Höhen — der Gaurisankar wird wohl die ihm hier noch zugewiesene erste Stelle nach den neueren Forschungen der englischen Topographen gewissen Spitzen des tibetanischen Himálaya abtreten müssen [25] — scheidet v. Sonklar [26] die Erdfeste in ebenes Land (Ebene) und bergiges Land (Bergland). Je nach der Entfernung vom Meeresspiegel unterscheidet man Tief- und Hochebenen, ohne natürlich zwischen beiden eine ganz feste Grenze ziehen zu können. Verbreitet sich eine Tiefebene über einen ansehnlichen Theil der Erdoberfläche, so nennt man sie Tiefland (sarmatisches, sibirisches, turanisches Tiefland). Die wichtigsten Tiefländer sind tabellarisch zusammengestellt die folgenden:

Europa.	Asien.	Amerika.	Afrika.
Sarmatisches (zwischen Weichsel und Ural).	Sibirisches.	Arktisches.	Tiefländer am Nil.
Germanisch-holländisches.	Turanisches.	Savannen des Mississippi.	Tiefländer am Senegal.
Französisches.	Indisches.	Atlantisches.	
Englisches.	Kirghisen-Steppe.	Salvas des Marañhon.	
Halbinseln Kanin und Kola.	Syrisch-arabisches.	Pampas am La Plata.	Neuholland.
Niederungarisches.	Chinesisches.	Küstenebene der Westküste.	Ausgedehnte Komplexe im Inneren.
	Hinterindische Tiefländer.	Llanos am Orinoko.	
	Dsungarische Tiefländer.	Tiefland am Magdalenenstrom.	
		Tiefland von Guyana.	

Selbstverständlich ist dieses Schema kein abgeschlossenes, vielmehr scheint die neuere afrikanische Forschung mancherlei Bereicherung desselben in Aussicht zu stellen. Kleinere, wenn auch langgestreckte Hügelreihen, wie die englischen „Downs“, nehmen einer Gegend den Charakter eines Tieflandes nicht. Will man jedoch auch ihnen ihr Recht angedeihen lassen, so bezeichnet man sie selbst als Landrücken oder Bodenschwellen (Fläming an der Elbe) und das von ihnen durchsetzte Tiefland speziell als Flachland [27].

Als Hochebene schlägt v. Sonklar vor jede Ebene zu bezeichnen, wenn sie an sich schon 180 m sich über das Meer erhebt oder, wenn sie als Fortsetzung einer Tiefebene erscheint, von einer Seehöhe von 360 m ab. Wir bemerken, dass wir hier bereits die Fussmaasse durch

*) Näher spricht sich über diese Schwäche der Sonklar'schen Arbeitsmethode der im Uebrigen selbstverständlich nur anerkennende Nekrolog aus, welcher dem Verstorbenen von Partsch gewidmet ward [24]. Es wird eingeräumt, dass die Betonung des rein morphographischen Elementes in den beiden ersten Abschnitten des Lehrbuches eine durchaus gerechtfertigte war, dass jenem dagegen in der rein geologischen dritten Abtheilung ebenfalls der Ehrenplatz eingeräumt wird, glaubt der Biograph tadeln zu müssen.

möglichst angenäherte und doch runde Zahlen im Metermaasse ersetzt haben. Macht die Hochebene den höchsten Theil eines Gebirgsstockes aus, so nennen wir sie Plateau oder Platte, im anderen Falle Terrasse oder Gebirgsstufe. Wachsen die Horizontaldimensionen, so stehen sich Tafelland und Terrassenland gegenüber. Anahuac z. B. ist ein Tafelland; einem solchen können natürlich auch, wie es im Dekhan und in Arabien zu sehen ist, isolirte Berge oder Bergketten aufgesetzt sein. Europa besitzt keine Tafelländer im eigentlichen Sinne, ihr sozusagen klassisches Land ist Afrika mit der Sahara, mit dem Tafellande der Mandingo's zwischen Senegambien und dem Sudân und mit der Kalahari-Wüste, wogegen dem Lande Abessynien der Charakter eines Tafellandes nicht wohl beigelegt werden zu können scheint*). Terrassenländer sind nichts weniger als selten: in Europa rechnen wir hierher die kastilische Ebene, den nördlichen Abfall der Pyrenäen, die Causse's westlich der Cevennen, die schwäbische, fränkische, thüringische, oberpfälzische Hochebene, das österreichische und steyrische Hügelland und die skandinavische Seenterrasse, in Asien Ostturkestan mit der angrenzenden Mongolei, den Abhang des Altai, Birma und Laos, in Afrika die Nordseite des Atlasgebirges, Habesch (?), Sennaar, Senegambien, Oberguinea, Kapland und den ganzen Sudân, in Amerika die Prairieenterrasse östlich von den Felsengebirgen, die Alleghanies, das Stufenland von Mendoza in Argentinien, endlich Patagonien, wo acht getrennte Stufenabsätze zu unterscheiden sein sollen. Der Uebergang vom höheren zum tieferen Niveau ist häufig durch ein steiles Randgebirge vermittelt.

Hiemit sind die wesentlich nur nach zwei Raumabmessungen ausgedehnten Oberflächenformen erschöpft**). Wenn wir jetzt auch

---

*) Von einem englischen Militär, der die Expedition nach Magdala mitmachte, wird der bezeichnende Ausspruch berichtet: Wenn diess Land eine Tafel ist, so ist es doch nur eine, welche ihre sämmtlichen Beine nach oben kehrt.

**) In v. Sonklar's Aufzählung der Ebenenformen vermissen wir hier die bestimmte Heraushebung der Depression, einer unter dem Meeresspiegel gelegenen Inlandebene; da, wo sie später erscheint, gehört sie weniger hin. Die Physik der Erde hat von je auf zwei dieser Depressionen ein wachsames Auge gerichtet gehabt, auf diejenige der Sahara und auf diejenige des todten Meeres. Auf erstere bezieht sich das grossartige Projekt Roudaire's, ein afrikanisches Binnenmeer herzustellen; seine Denkschrift [28] beschäftigt sich in erstem Theile mit dem historischen Nachweise, dass noch im Alterthum die algerisch-tunesischen Schott's mit dem Mittelmeere eine Verbindung gehabt hätten, alsdann sucht dieselbe die Entstehung eines Isthmus zwischen beiden zu begründen, wobei in etwas eigenthümlicher Weise auf die allerdings im Golfe von Gabes ungewöhnlich stark hervortretenden Gezeiten (S. 384 dieses Bandes) Bezug genommen wird, und zuletzt werden praktische Vorschläge zur Durchgrabung dieses Isthmus gemacht. Allein gerade die grossen nationalökonomischen Vorzüge des Roudaire'schen Projektes [29] werden von Martins, Desor und Cosson geleugnet, und es wird die meteorologisch wohl begründete Vermuthung ausgesprochen, dass ein algerisches Inlandmeer die Dattelkultur eher hemmen als fördern möchte [30]. Uebrigens ist auch der Abschluss der Salzsümpfe wohl nicht auf blosse Versandung, sondern auch auf eine langsame Landhebung zurückzuführen. Ein anderes Depressionsgebiet wollte Rohlfs in der libyschen Wüste entdeckt haben, er empfahl deswegen das Mittelmeer mittelst eines an der Rassemquelle beginnenden Durchstiches in die — nach Aneroidmessungen — stellenweise mehr denn 100 m unter das Meeresniveau sich hinabsenkende Mulde zu leiten. Allein Zenker wies [31] das Illusorische dieses Planes nach, und in der That haben auch die Forschungen v. Zittel's keinen geologischen Anhaltspunkt nach dieser Richtung

die dritte Dimension mit berücksichtigen, ergeben sich für die Definition Anstände, bei deren Ueberwindung eine gewisse Schwierigkeit nicht umgangen werden kann. „Unter einem Hügel oder Berg verstehen wir — mit v. Sonklar — eine wenig ausgedehnte, schwach oder auch gar nicht gegliederte Reliefform, die sich entweder durch isolirte Stellung oder durch mehr oder minder tief einschneidende Kammsättel sammt den beiderseitigen Kammhängen als eine physisch individualisirte Bodenmasse darstellt.“ Als Marke zwischen Berg und Hügel will unser Gewährsmann wiederum die Horizontalebene von 180 m Niveaudistanz betrachtet wissen. An sich einleuchtend sind die Worte Hügelkette, Bergkette, Hügelgruppe, Berggruppe. Viele näher beisammen liegende Gruppen und Ketten erfüllen ein Hügelland und ein Gebirgsland; das Wesen des letzteren ist darin zu suchen, dass sich die Höhenverhältnisse benachbarter Punkte rasch und energisch ändern. Das Gebirge selbst ist ein gegliederter Komplex von ungegliederten Massirungen (Bergen) und von verhältnissmässig bedeutender Horizontalerstreckung. Die einzelnen Glieder müssen unter sich in erkennbarer Verbindung stehen, der Ursprung der Theile muss geodynamisch auf eine gleiche Ursache hinweisen. Jedes Gebirge muss eine wasserscheidende Höhenlinie in sich aufgenommen haben. Mehrere nahe oder sonst geometrisch zusammenhängende Gebirge fasst man zusammen zu einer höheren Einheit, zu einem Gebirgssystem. Die wichtigsten Gebirgssysteme werden nachstehend in Bezug auf ihre Longitudinalerstreckung verglichen. Es verhalten sich nämlich Südam. Cordilleren : Nordam. Cordilleren : Ural : Thian-Schan : Nanling : Himálaya : Küen-Lün (mit Kulkun) : Skandinav. Kette : Ost-Ghats (Indien) : Jünling : Alburs-System (Persien) : Karpathen (inclus. „kleine“) : Peling : Vinchya (Indien) : West-Ghats : Alpen : Apenninen wie die Zahlen 110 : 80 : 53 : 49 : 40 : 38 : 35 : 32 : 30 : 25 : 23 : 22 : 20 : 20 : 18 : 15 : 14. Die Scheidelinie zwischen zwei nahe an einander heranreichenden Systemen lässt sich häufig erst bei sehr genauem Zusehen an dem veränderten Streichen der Ketten, sowie an plastischen und geognostischen Momenten erkennen. So ist z. B. die Grenze zwischen Seealpen und Apennin die Bocchetta bei Genua. Scheidet man innerhalb eines Systems wieder einzelne besonders zusammengehörige Bestandtheile aus, so erhält man die Gebirgsgruppe (Wettersteingruppe mit Zugspitz, Karwändelgruppe).

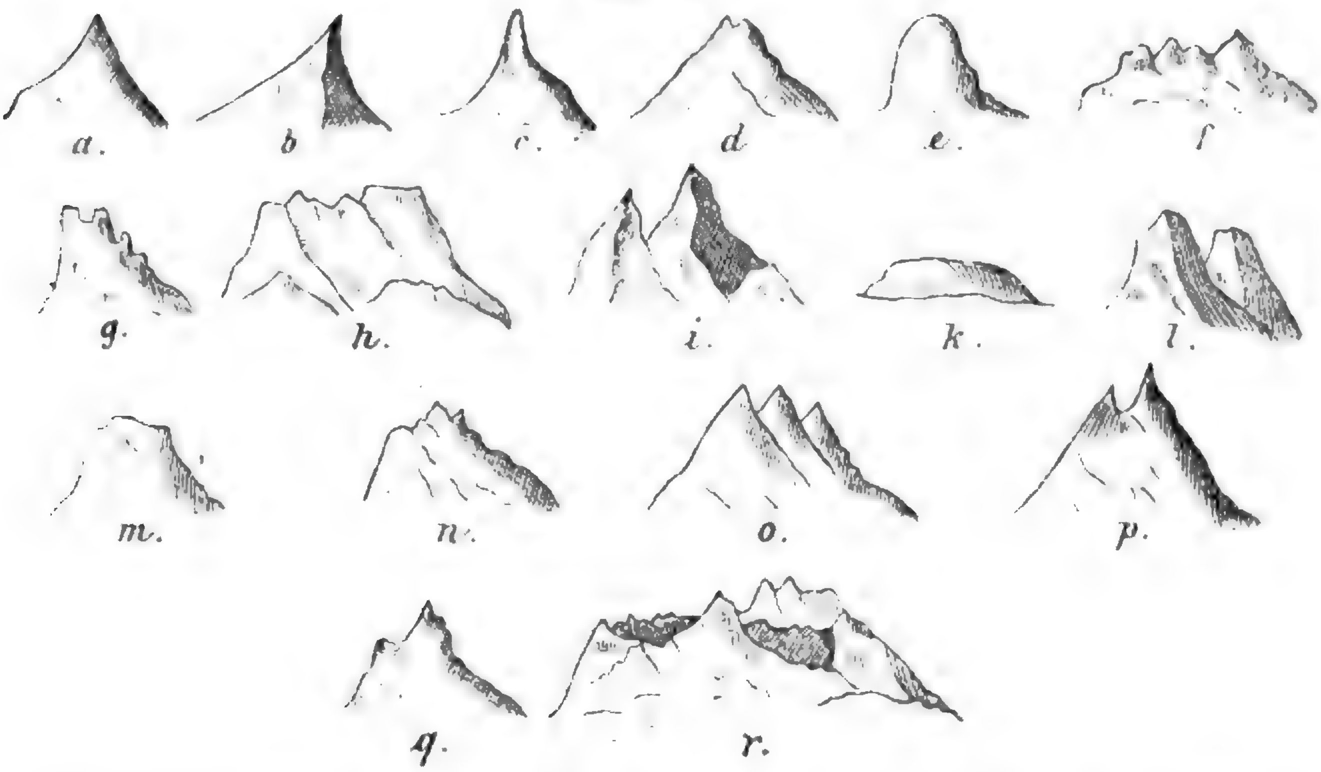
Unter den Hügeln des Tieflandes besteht im Allgemeinen so gut wie gar keine physiognomische Verschiedenheit; höchstens spricht

---

hin ergeben, indem die Ammons-Oase höchstens mit dem rothen Meere korrespondirt haben könnte [32]. So besteht denn auf diese Weise keine Hoffnung, der Wüste Terrain abgewinnen zu können, und auch die Bewässerung der Schott's wird im Stadium der Pläne verbleiben, da die vorläufigen Nivellements die französische Nationalversammlung eher von der Kostenbewilligung abschreckten, und da zudem nach dem Tode Roudaire's und seines Gönners Chanzy die eigentliche Triebkraft fehlen dürfte. — Die Geologie des todten Meeres ist von O. Schneider eifrig erforscht worden [33]. Die tiefe und lange Längsspalte — denn bereits oberhalb des Huleh-See's beginnt das Thal des Jordan unter den Horizont des mittelländischen Meeres hinabzutreten — scheint nicht, wie Russegger meinte, das Resultat einer einmaligen vulkanischen Kraftäusserung zu sein, sondern nach Lartet auf kontinuirliche, durch Erdbeben vielleicht beschleunigte, Zusammenbrüche jener Kreideschichten, welche für Palästina charakteristisch sind, zurückgeführt werden zu müssen [34].

man bei'm Vorhandensein von sanften Böschungen und flachmuldigen Zwischenräumen von Boden- oder Terrainwellen. Eine um so grössere Formen-Mannigfaltigkeit bekunden die eigentlichen Berge. Unsere Fig. 97 repräsentirt nach v. Sonklar's Mustern [35] eine Reihe aus-

Fig. 97.



gesprochener Typen, zu deren konciser Onomatologie die Dialekte des Hochgebirges werthvolles Material liefern. a ist die Spitze (Pic, Piz im Ladinischen, wie z. B. Ortler und Adamello sie besitzen), b die schiefe Spitze, z. B des Wiesbachhornes*), c das Horn (Glockner, Venediger, Dent du midi), d die Kuppe (Kogel, Kopf, Kofel im Bereiche des deutschen Dolomitterritoriums), wie sie am Oetscher und Pyrgas vorkommt, e der Dom oder die Kuppel (Belchen, Similaun, Riesenkoppe, Kasbek, besonders ausgesprochen am Wendelstein), f der kärthnerische Nock, g der Thurm (Floitenthurm, Matterhorn), h der Tafelberg (Berg bei der Kapstadt, Raxalpe bei Wien), i das Krummhorn (Wildgall im Antholzer Thal, Kriwan in der Tatra, Glockerin, Schafberg), k der die Vorlandformen auszeichnende Bergbuckel, l die Schneide**), m und n Giebelspitze und Giebelhorn (Cima di Brenta), o Doppelspitz, p Doppelhorn (Wazmann), q Schultergipfel, r Stock (z. B. der des Monterosa), das Verbindungsglied zwischen Einzelberg und Gebirgsgruppe.

Am Berge selbst bethätigt sich unsere Terminologie in folgender Weise [36]. Der eigentliche Bergkörper wird Rumpf genannt, die ihn einschliessenden Flächen sind die Gehänge. Ist ein Gehänge eben und nicht allzu steil, so heisst es Lehne, Hang, Fluh, ein kantiger, schroff abfallender Theil des Gehänges wird als Rippe, eine

*) Aus dem oben citirten Aufsatze von Diener muss man schliessen, dass überhängende Bergformen dem Himálaya im überwältigendsten Maasse eigen sind.

**) Vorliegenden Abbildungen zufolge scheint der hellenische Parnass das Muster einer solchen Bergschneide abzugeben.

schmale Wasserrinne als Siefe und Riss („ravin") bezeichnet. Mulden sind breite, schalenförmige Vertiefungen, Runsen tief in das Bergmassiv eingegrabene Falten, die auch, namentlich, wenn sie mit Geröll erfüllt sind, den Namen Tobel führen. Sehr steile Partieen bilden einen Absturz („précipice"), Absturzwände heissen in Tyrol Schrofen*). Unter Bergfuss versteht man die freilich nicht immer zusammenhängend hergestellte Verbindungslinie aller Punkte von der relativen Höhe Null, ein vorspringender Bergtheil wird als Zehe, Schleppe, Sporn, Nase (S. 323 dieses Bandes) charakterisirt. Sekundäre Formen der Berghänge sind [37] die Sturzkegel, Trümmerhalden, Schutt- und Schwemmkegel, auf deren Entstehung einzugehen hier noch nicht der Ort ist. Sturzhalden („nappes d'écoulement", im höheren Gebirge als Schuttkaare bekannt) haben meist eine starke Neigung gegen den Horizont, mitunter gerade die dem Reibungswinkel entsprechende**), wo dann, wie der Nordpolfahrer Kane öfter zu konstatiren Gelegenheit hatte, die leiseste Berührung ausreicht, um starke Rutschungen herbeizuführen. Die Schuttkegel sind eben nicht sehr gross, doch hat z. B. der aus der Diluvialzeit (§. 6 des vorigen Kapitels) stammende Kegel von Wiener-Neustadt einen Umfang von 10 Stunden mit einem Maximalgefälle von 35° [38]; auch Innsbruck ist auf einem so gigantischen Schuttkegel erbaut [39]. Der meist synonym gebrauchte Ausdruck Muhre bedeutet, wie sich in dem den Ueberschwemmungen gewidmeten Abschnitte ergeben wird, doch eigentlich etwas anderes***).

---

*) Ungefähr — denn die Scheidung ist immer mehr oder weniger eine willkürliche — bestehen für die Neigungswinkel der einzelnen Kategorieen nachstehende Grenzwerthe:

Lehne: $> 0^0 < 15^0$; Hang $\geqq 15^0 < 25^0$; Absturz $\geqq 25^0 < 45^0$; Wand $\geqq 45^0 \leqq 90^0$.

**) Wir erinnern zum Verständnisse dieser Angabe an einen bekannten Satz der Statik. Ist f der sogenannte Reibungskoefficient, so wird ein auf einer schiefen Ebene von der Neigung α befindlicher Körper, dessen Gewicht Q ist, von einer Kraft $= Q \sin \alpha - fQ \cos \alpha$ abwärts getrieben. Für $Q \sin \alpha_1 - fQ \cos \alpha_1 = 0$ ist somit $f = \operatorname{tg} \alpha_1$; dieser Winkel $\alpha_1 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f$ wird gewöhnlich als Reibungswinkel definirt.

***) Wichtige mathematische und sowohl für die praktische Hydraulik, wie für die darstellende Erdkunde verwerthbare Untersuchungen über Steilheit der Gehänge verdankt man Boussinesq [40]. Wir sehen hier noch davon ab, dass durch dieselben eine Art mathematischen Maasses für die Erosionskraft strömender Gewässer geschaffen wird, und beschränken uns auf die thatsächlichen Festsetzungen über ausgezeichnete Terrainlinien. Hier begegnen wir zunächst dem Thalweg, längs dessen eine Wassermasse die kürzeste Verbindung ihres augenblicklichen Ortes mit der Horizontalebene herstellt, und für den auffallenderweise die französische Sprache kein besonderes Kunstwort zu bilden verstanden hat („Aux points où la déclivité du sol est considérable, le poids même des matériaux tend à les détacher et facilite leur entraînement, surtout lorsque quelques-unes de leurs couches sont, ou rendues glaissantes, ou délayées et emportées par les eaux d'infiltration qui affluent dans le thalweg"). Man kann mit Boussinesq sagen [41]: Alle auf den beiden Wänden eines Thales zu konstruirenden Linien stärksten Falles („lignes de plus grande pente") haben den Thalweg zur Asymptote. Mit dem Worte Bassin wird der geometrische Ort aller Linien stärksten Falles bezeichnet. Camille Jordan's Definition des Thalweges, die er in einer geometrisch höchst inhaltsreichen Abhandlung gab [42], wird von Boussinesq mit Recht deshalb bestritten, weil sie eine von der Natur nicht nothwendig geforderte lokale Einsenkung des Bassinrandes voraussetzt [43]. Jene Linie, von welcher die Kurven grösster Neigung einer Thalwand beidseitig

Eine Reihe enge verbundener Berge heisst Gebirgsrücken oder Gebirgskamm; jene Linie, welche das Gebirge, von ferne gesehen, gegen das Firmament abgrenzt und welche im Allgemeinen auch die Scheidung der meteorischen Gewässer besorgt, ist die Kammlinie. Der tiefste Punkt eines gegen das Erdinnere konvexen Astes der Kammlinie gilt als Einsattelung oder Sattel, im hohen Alpengebirge als Joch, als tiefer und enger Riss wird er Scharte, wenn zum Begehen praktikabel, Pass genannt. Das schweizerische Wort Scheidegg hat einen analogen Sinn. Addirt man — diess ist ein von Humboldt (s. o. §. 1) ausgehender Vorschlag — die Höhen der m kulminirenden Gipfel und der n Einsattelungen eines Rückens und dividirt in die erhaltene Summe mit der Zahl $(m + n)$, so hat man die mittlere Kammhöhe erhalten [47] (s. u.). Was die Morphographie der Kämme anlangt, so unterscheidet man Rücken im engeren Sinne und Grat, welch' letzterer sonach, wenn die Fläche des Rückens durch eine Gleichung darstellbar wäre, eine lineare Diskontinuität der letzteren darstellen würde. Läuft zu beiden Seiten der Kammlinie je eine Bergterrasse her, so hat man einen Rampenkamm, wenn der Grat in Zinken und Felsthürme zerrissen ist, so spricht man von einem Sägegrat. Bergterrassen der bezeichneten Art heissen in Tyrol und namentlich im Unterinnthal, nicht aber auch im Erzgebirge, wo ein homonymer Ausdruck vorkommt, Mittelgebirge. Wenn n die mittlere Kammhöhe, m die kürzeste Entfernung eines von der Kammlinie auf die Horizontalebene gefällten Lothes vom Fusse des Berges bedeutet, so ist (vgl. Band I, S. 288) $\operatorname{arc\,tg} \frac{n}{m}$ der mittlere Neigungswinkel der Kammgehänge. Was die Termini mittlere Gipfelhöhe, mittlere Sattelhöhe, mittlere Schartung bedeuten, ist nunmehr leicht einzusehen; die für benachbarte Gebirge bestimmten numerischen Werthe dieser Längen weisen oft überraschende Unterschiede auf [48].

Die Sonklar'sche Eintheilung der Gebirge in Nieder-, Mittel-, Alpen- und Hochgebirge hat, soweit wir sehen können, wenig Anklang finden können und in der That stützt sie sich auf allzu äusserliche Merkmale. Wichtig und anerkannt ist dagegen sein System der Gebirgsgliederung [49]. Die Gliederung kann eine sechsfache sein, wenn man von den Vor- und Widerlagen eines Hauptkammes als sekundären Erscheinungen Abstand nimmt. Diese sechs Modalitäten sind die folgenden:

a) **Lineare Gliederung.** Beispiele: ungarischer Vihorlat, deutscher Jura.

b) **Parallele Gliederung.** Beispiele: Schweizer und französischer Jura, nördliche Kalkalpen, Sudeten.

c) **Transversale Gliederung.** Vom höheren inneren Kamme laufen, wie die Rippen von der Wirbelsäule, Neben- oder Seitenkämme

---

ausgehen, heisst First („faîte"); die Firste sind die Arterien, die Thalwege die Venen des Gebirgs-Organismus [44]. Zuletzt giebt unser Autor noch die Bedingungen an, nach welchen sich die Linien grösster und geringster Steilheit richten müssen [45]; die Aufgabe führt auf Differentialgleichungen der zweiten Ordnung. — Hübsche Uebungsbeispiele für die Lösung ähnlicher Aufgaben gab Quidde [46].

aus, deren Anschlusspunkte die Gebirgsknoten sind. Beispiele: centrale Alpen, Kaukasus, Waldkarpathen.

d) **Diagonale oder divergente Gliederung**; gabelförmige Spaltung des Hauptkammes. Beispiele: südlicher Ural, Abruzzen.

e) **Radiale Gliederung.** Das Gebirge der Auvergne sendet 13, das Vogelsgebirge 12, der Schwarzwald in seinem südlichen Theile 7 bis 8, der Oetzthaler Stock (von der Weisskugel an) 12 Fächerketten aus. Ein Berg, wie die genannte Weisskugel, kann füglich Radialknoten heissen.

f) **Stockförmige Gliederung**; in vulkanischen Gebirgen nicht selten. Geradezu typisch ist die Form für die alpinen Kalkgebirge des Salzburger- und Steyrerlandes, wie Tännengebirge, Höllengebirge, todtes Gebirge, Dachstein, Grimming u. a. darthun.

v. Sonklar hält vier Höhenregionen auseinander [50], nämlich von unten nach oben zu die Basisregion, die Waldregion, die Region der Alpenweiden und endlich diejenige der unwirthlichen Felsen und des ewigen Schnee's. Schon älteren Datums ist die Scheidung der Gebirge in Massen- und in Kettengebirge, je nachdem eine der beiden Horizontaldimensionen nicht oder besonders stark vorwiegt. Mit Humboldt, und dessen Angaben nur verschärfend und vertiefend, verlangt unsere Quelle [51], dass die Beschreibung eines Gebirges Auskunft gebe über fünf Hauptrichtungslinien.

a) **Longitudinalaxe**; bei den Mittel- und Ostalpen eine die Städte Lyon und Waitzen (in Ungarn) verbindende Gerade.

b) **Kammlinie**; nach den obigen Bestimmungen zu definiren als geometrischer Ort der Punkte grösster Höhe eines jeden Querprofiles.

c) **Streichungslinie der Schichten**; die „geognostische" Gebirgsaxe*).

---

*) An diesen Winkel der Längsrichtung mit dem Meridian knüpfte bekanntlich A. v. Humboldt's und Élie de Beaumont's „Géognosie d'alignement" an, das neben manch' guten Erfolgen doch auch viel Irrthümliches zu Tage förderte. Ersterer hatte sich in dieser Hinsicht, ganz gegen seine Gewohnheit, ein naturphilosophisches Schema zurechtgemacht, von welchem er selbst in einem Briefe A. Werner folgende Nachricht giebt [52]: „Ich werde beweisen, dass das Streichen und Fallen der Gebirge sich nicht auf Richtung und Abfall der Gebirge, sondern auf etwas weit Grösseres bezieht, dass alle umfänglichen Gebirge in der grossen europäischen Gebirgskette das Hauptstreichen R. 3—4 und Fallen gegen Mitternacht und Abend, alle Flötzgebirge dasselbe Streichen und Fallen gegen Mittag und Morgen haben." In einer Abhandlung von Krümmel [53] wird der Versuch gemacht, auf Grund geschichtlicher Prüfung den gesunden Kern jener formalistischen Theorieen herauszuschälen. Er hält dafür, dass in den Erhebungslinien allerdings kein Parallelismus, wohl aber ein gewisser Loxodromismus zu erkennen sei, und unterscheidet namentlich auf der pyrenäischen Halbinsel ein charakteristisches Netz geradliniger Systeme (asturisches, kastilisches, iberisches, granadinisches oder atlantisches System). Für Amerika sei das Antillensystem demjenigen der Anden und Felsengebirge ebenbürtig [54]. Auch Kjerulf glaubt aus dem Gebirgssysteme Norwegens vier bestimmt vortretende Spaltensysteme fixiren zu können [55], und im ersten Bande des grossen China-Werkes v. Richthofen's werden sechs Systeme unterschieden (dasjenige des Küen-Lün, des Himálaya, des Thian-Schan, des Altai, das sinische und das hinterindische). Der Min-schan und der östliche Küen-Lün einerseits und der Hsi-king-schan und Tsing-ling-schan andererseits fallen allerdings mit ihren Längsaxen fast genau in dieselbe gerade Linie. — Diesen zweifellos berechtigten Erfahrungssätzen steht gegenüber die groteske Hypothese v. Petrinò's [56], wonach alle Gebirgszüge Südamerika's senkrecht aus der Cordillerenkette entspringen sollen!

d) **Linie der Wasserscheiden.** Klar ausgesprochen für den einzelnen Gebirgskamm, ist dieselbe bei grösseren Systemen oft nur sehr schwer herauszufinden*). Zum Glücke denkt man seit Ebel (s. o. §. 1) minder gross von der geographischen Bedeutung der Wasserscheiden, mit deren alleiniger Hülfe eine aprioristische Konstruktion des Gebirgsbaues im Sinne von Schultz (a. a. O.) absolut unmöglich ist.

e) **Grenzlinie der Gebirgsformationen**; Kurven mit oft verwickelten Durchschlingungen.

Nachdem v. Sonklar noch einige Gebirgs-Spezialitäten**) besprochen hat, wendet er sich den Hohlformen des Bodens zu, welche jetzt, nachdem Ebenen und konvexe Gebilde abgethan sind, naturgemäss an die Reihe kommen. Diese Hohlformen können Landbecken (Strombecken, Landsenken in Hannover und Oldenburg, Flussseebecken, kontinentale Binnenräume)***), sie können auch Thäler im engeren Sinne, Vertiefungen zwischen Bergen (Hügeln) sein. Was Thalhänge und Thalwände sind, folgt bereits aus dem Früheren; zwischen den Linien, welche beiderseits den Fuss der Thalwände markiren, breitet sich die Thalsohle aus. Häufig ist der Uebergang vom Thalhang zur Thalsohle nur ein sehr allmähliger, hie und da, wenn Uferterrassen vorhanden sind, ein ruckweiser, in seltenen Fällen ist die Thalsohle so eingeschrumpft, dass eben nur der dem Thale eigenthümlich zugehörende Wasserlauf in ihr Platz findet†).

---

*) Supan nennt [57] normale Gebirge jene, in denen die höchste Kette zugleich die Wasserscheide ist, anomale jene (Himálaya), welche ihrer ganzen Breite nach von Flüssen durchbrochen werden. „Einige von den anomalen Gebirgen, wie der Jura, die Alleghanies und vor Allem das südliche China, besitzen nach v. Richthofen's Ausdruck einen rostförmigen Bau, welcher darin besteht, dass die Gewässer abwechselnd den muldenförmigen Einsenkungen zwischen den Parallelketten folgen und die letzteren in kurzen Querthälern durchbrechen. In diesem Falle wandert die Wasserscheide regellos von einer Kette zur anderen und bildet eine vielfach gebrochene Zickzacklinie.“ Besonders eigen geartete Verhältnisse scheinen nach Stapff [58] die schwedisch-norwegischen Grenz-Fjelde darzubieten, wo die Zuflüsse des der Ostsee und dem Atlantik resp. tributären Mistå-Elf und Nea-Elf „fingerartig“ ineinander greifen. Dass die Wasserscheiden ihre Lage ändern hönnen (Oxus, Hoang-Ho), ist bekannt [59].

**) Vom Karst handelt das fünfte Kapitel. „Unter Steinwäldern versteht man die aus ebenem oder welligem Grunde aufragenden, mehr oder minder dicht beisammen stehenden und oft ein phantastisches Gewirre bildenden isolirten Felsformen, Reste von Kalk- oder Sandsteinmassen“ [60]. Hierher gehören die Dittersbacher und Adersbacher Felsen (S. 88 dieses Bandes) und das von O. Buchner [61] beschriebene Felsenmeer am Feldberg im Odenwald. Von weggewaschenen Thonlagern bleiben mitunter lange dünne Säulen übrig, die sie gegen die Wirkung der Atmosphärilien schützenden Steinblöcke auf dem Kopfe tragend. Diese Erdpyramiden kommen nirgends schöner vor, als auf dem Bozener „Ritten“; Midgley will dergleichen auch am Hechtsee wahrgenommen haben [62].

***) Wie oben schon erwähnt, scheinen uns so gewaltige Depressionen, wie die afrikanische Wüstenregion, doch mehr den ebenen als den Hohlformen beigezählt werden zu sollen.

†) Diess gilt z. B. nach Pechuël-Lösche [63] für das ganze Congo-Gebiet, dessen künftige Landstrassen ihren Weg nicht entlang den Flüssen, sondern quer über die Hügelrücken hinweg zu nehmen gezwungen sein werden. Charakteristisch erscheint uns der Mangel einer eigentlichen Thalsohle für viele Gebirge Niederrhätiens; für das kleine Walser-(Mittelberger-)Thal merkt Regnet [64] diese Eigenschaft besonders an.

Für die gestaltlichen Verhältnisse*) der Thäler sind v. Sonklar's Kategorieen maassgebend [65].

a) **Siefen und Regenrisse**; veranlasst durch unmittelbare Wirkung der meteorischen Gewässer.

b) **Gründe**; breitere Einschnitte in ein Plateau mit sanft geneigter Sohle (Plauen'scher Grund bei Dresden).

c) **Mulden**; wannenförmige Aushöhlungen, weiter oben im Gebirge Kaare genannt.

d) **Runsen und Tobel**; schon oben erklärt.

e) **Gräben**; sehr kurze Seitenthäler mit scharf abfallender Sohle (Adlitzgraben am Semmering).

f) **Schluchten**; enge, tief eingeschnittene, geradlinig verlaufende Gebirgsöffnungen.

g) **Schlünde**; Schluchten von besonders ausgeprägter Steilheit und mit gewundener Sohle, besonders grossartig entwickelt in den später zu besprechenden Cannon's Nordamerika's.

h) **Thalengen**; bei grösserer Länge Thalkehlen genannt. Dieselben verursachen dem sie durcheilenden Flusse Schwierigkeiten, geben zu Stauungen, Stromschnellen und Katarakten Veranlassung (Donau bei Hainburg, Inn bei Finstermünz, Drau in Oberkärnthen). Der Lauf der Donau von Passau bis Linz ist eine Thalkehle, zu diesen ist auch das Eisackthal vor Bozen (Kuntersweg) zu rechnen. Die engsten Stellen eines Thales heissen Klausen oder — in anderem als dem oben festgestellten Sinne — Pässe, richtiger Engpässe (Klausen am Inn, Scharnitz, Pass Lueg, Pass Gacht, Ehrenberger Klause). Eine besonders zerklüftete und tief eingerissene Enge wird Klamm genannt**) (Seissenberg-Klamm am Hirschbühel-Pass, Klammen der Gisela-Bahn, Unkener Klamm).

i) **Thalbecken**; so genannt, wenn die Hänge weit zurücktreten. Thalbecken sind häufig zwischen Klammen gelegen (Thalbecken von Hofgastein, Sterzing, Terrassenfolge der Thalbecken zwischen Splügen und Thusis). Erweiterte Thalbecken mag man Thalebenen nennen, wenn nur die einschliessenden Wände noch innerhalb der Sehweite liegen (Grazer Feld, Ebene von Aussee und Cortina, wohl auch der „Boden“ von Bozen.

---

*) Wir betonen nochmals, dass wir ausschliesslich die morphographische Seite von v. Sonklar's Orographie, weil auf unübertroffene alpine Autopsie sich stützend, für uns adoptiren und keinerlei physikalische Reflexion mit der Eintheilungsart der Berge und Thäler verbinden.

**) Um eine Thalenge als Klamm scharf zu kennzeichnen, würden wir vorschlagen, so zu definiren: Von einer Klamm kann erst dann die Rede sein, wenn das den Riss durchströmende Wasser eine solche Geschwindigkeit erlangt hat, dass auf dessen Oberfläche gelegte schwere Körper (Steine) nicht mehr untersinken. Die Beobachtung selbst ist im Hochgebirge alltäglich, die Erklärung leicht mit Hülfe des Satzes vom Kräfteparallelogramm zu erbringen. Es ist nämlich das Nicht-Untersinken nur ein scheinbares; die Fallbeschleunigung ist g, die Strömungsgeschwindigkeit sei v; dann bildet die — annähernd — gerade Linie, in welcher der Körper sich während der ersten Zeit bewegt, mit dem Thalweg einen Winkel gleich arc tg $\frac{g}{v}$. Wenn also v sehr gross gegen g ist, wie diess bei solch' engen Rinnsalen der Fall ist, so ist der Winkel nicht viel von Null verschieden. Natürlich trägt auch die Kompression des wirbelnden Wassers dazu bei, den Fall zu verlangsamen.

k) **Cirkus- und Kesselthäler**; Thalbecken von annähernd kreisrunder Form*) Caldera auf Palma, Tejeda auf Gran Canaria, Val del Bove am Aetna, die „Cirques" oder „Oules" in den Pyrenäen, Cirkus von Macugnaga (am Monterosa), Cirkusse des Adamello-Stockes.

l) **Maare und Karstkessel**; Spezialformen, die nicht rein morphographisch, sondern (vgl. Band I, S. 343) nur im Hinblick auf ihre Entstehung zu behandeln sind.

m) **Stromthäler**; von Boussinesq (a. a. O.) als annähernd cylindrische Hohlflächen definirt, deren tiefst gelegene Erzeugende zugleich die tiefste Linie des Flussbettes darstellt.

Alles bisherige bezog sich auf das Querprofil des Thales, und nunmehr muss auch das Längenprofil in seinen charakteristischen Momenten zur Geltung kommen [67]. Dieses Profil wird abgeschlossen durch das dem sich quer vorlagernden Kamme angehörige Hintergehänge. Man spricht mehrentheils von einem Thalschluss (z. B. das landschaftlich berühmte Käferthal in den Tauern), sollte aber korrekter Thalanfang sagen. Das Thalgefälle wird ganz in der gleichen Weise bestimmt, wie der Böschungswinkel eines Gebirgszuges. Lange Thäler pflegen ein kleines und stetiges, kurze ein starkes und unregelmässiges Gefälle zu besitzen. Die Worte Thalterrasse, Thalstufe, Thalabsatz bedürfen der Erklärung nicht**). Man unterscheidet, wie bekannt, Haupt- und Nebenthäler [68]***). Es kann aber auch vorkommen, dass ein Thal sich in zwei vollkommen koordinirte und wohl auch noch in mehr Thäler theilt oder zwieselt (Werra-Fulda, Brigach-Brege, Gabelung des Oetzthales in Vend- und Gurgl-Thal bei dem daher seinen Namen führenden Weiler Zwieselstein, Dreitheilung des Oberstdorfer Illerthales am Wetterschrofen, Viertheilung des Zillerthales). Mit Bezug auf den geognostischen Charakter eines Gebirges sind die mit den Schichten parallel streichenden, meist ebenen Längsthäler und die auf der Longitudinalaxe normal stehenden Querthäler als Gegensätze zu betrachten [70]. Längssättel und Quersättel†) stellen zwischen verschiedenen Thälern derselben Gattung die Verbindung her; so bilden Rhône-, Urseren- und Hinterrheinthal fast nur eine einzige gerade Linie, deren Lücken die Sättel des Furka- und des Oberalppasses ausfüllen. Die weiteren Subdivisionen v. Sonklar's lassen wir, als gar zu kleinlich, bei Seite.

---

*) Die chilenischen Anden zeichnen sich nach Güssfeldt [66] durch eine ganz von den uns geläufigen Mustern abweichende Form der Thalbildung aus. Viele Hauptthäler heissen nämlich in der Landessprache nicht „valle" (Thal), sondern „cajon" (Kasten); bei geringem Gefälle führen dieselben zu einem Kessel mit steil aufragenden Wänden, die unten mit Grün bekleidet, oben mit Eis bedeckt sind. Sollte nicht der Abschluss des Schnalser-Thales in Tyrol in verkleinertem Formate ein Analogon darbieten?

**) Das Gasteiner Thal zerlegt sich in vier, das Oetzthal in noch mehr Abstufungen.

***) Etwas zu schematisch ist Tyndall's Eintheilung [69]. Zuerst kommen die Thäler der ersten Ordnung (Rhône- oder Rheinthal), sodann die ihrer Längsrichtung nach senkrecht auf ersteren stehenden Thäler der zweiten Ordnung; die Thäler der dritten Ordnung gehen aus denen der zweiten hervor, wie diese aus jenen der ersten Ordnung, sind also näherungsweise parallel zu den Hauptthälern, und endlich sind die Thäler der vierten Ordnung, enge Schluchten und Risse, parallel zu denjenigen der zweiten Ordnung.

†) Statt dieser Bezeichnung ist wohl auch das Wort Riegel im Gebrauche.

Tiefe Einschnitte, welche bis auf das Niveau der Gewässer herabgehen, sind Gebirgsdurchbrüche [71]. Sie können total sein (Reussthal zwischen Andermatt und Flüelen) oder auch subtotal, wenn sie zwar nicht ganz so tief sind, wie die totalen, aber doch tief genug, um den Charakter von Kammsätteln zu verlieren (Durchbruch bei Zell am See). Geblendet sind sie, wenn trotz ihrem Vorhandensein der unterbrochene Gebirgskörper noch eine beträchtliche Höhe beibehält (Fernpass, Seefelder Ebene, Hirschbühel, Hallthurm-Pass zwischen Untersberg und Lattengebirge, Durchbruch der Misurina bei Höhlenstein).

§. 3. **Orometrie.** Hierunter verstehen wir mit v. Sonklar [72] „die Ausmittelung jener allgemeinen Abmessungen der Gebirge, wodurch dieselben nach ihren räumlichen Verhältnissen unterschieden werden.“ Indem wir einzelne schon aus §. 2 bekannte Dinge rekapitulieren, stellen wir als nothwendige und hinreichende orographische Elemente folgende auf:

1. Mittlere Gipfelhöhe,
2. Mittlere Sattelhöhe,
3. Mittlere Schartung,
4. Mittlere Kammhöhe,
5. Mittleren Neigungswinkel der Kammgehänge,

bezieht sich auf Höhe und Beschaffenheit der Kammlinie.

6. Mittlere Höhe der Thäler,
7. Mittleres Gefälle der Thäler,
8. Allgemeine Sockelhöhe des Gebirges,

charakteristisch für Tiefe und Neigungsverhältnisse der Thäler.

9. Allgemeine Höhe der Kämme,
10. Volumen aller Kämme und des Sockels,
11. Totalvolumen des Gebirges,
12. Höhe des massiven Plateau's, welches durch Ausgleichung aller Kämme und Thäler entstehen würde.

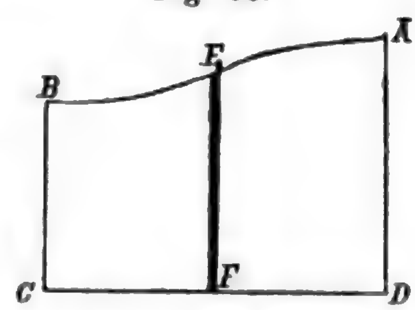
Die Ermittelung dieser zwölf Elemente gestattete die Begründung einer — nicht blos im üblichen, vagen Sinne — vergleichenden Orographie. Zur Erklärung diene Nachstehendes.

Mittlere Gipfel- und Sattelhöhe ist, wie wir bereits wissen, das Mittel aus den absoluten Höhen sämmtlicher Gipfel und Sättel. Die Differenz zwischen beiden liefert die mittlere Schartung, deren Grösse dem pittoresken Effekte eines Gebirgszuges proportional gesetzt werden dürfte. Nimmt man von mittlerer Gipfel- und Sattelhöhe abermals das Mittel, so erhält man in der mittleren Kammhöhe das eigentliche allgemeine Höhenmaass des Kammes, also orographisch etwa dasselbe, was bei Temperaturmessungen die Mitteltemperatur ist. A. v. Humboldt's Vorschlag [73], das arithmetische Mittel aus den Höhen aller Gebirgsübergänge als Maass der mittleren Kammhöhe zu nehmen, trifft nicht ganz den Kern der Sache. Will man Kammhöhe und Schartung für ein ganzes Gebirge haben, so sind die für die einzelnen Kämme erhaltenen Zahlen mit den Längen der Kämme zu multipliciren, und in die Summe dieser Produkte ist mit der Summe der Kammlänge zu dividiren. Für die mittlere Höhe eines Thales gilt gewöhnlich die Regel, das arithmetische Mittel aus Anfangs- und Endhöhe zu nehmen. Genau ist diess Verfahren natürlich nicht, denn wenn ABCD (Fig. 98) eine Längenprofil des Thales vorstellt, und wenn $y = f(x)$ die Gleichung der Profilkurve ist, so muss die mittlere Höhe

$$EF = \frac{1}{CD} \cdot \int_0^{CD} f(x)\,dx$$

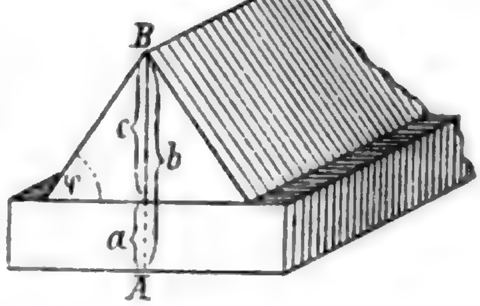
gesetzt werden, und damit EF in aller Strenge gleich $\frac{1}{2}$ (AD + BC) würde, müsste die Kurve AB mit einer Geraden identificirt werden dürfen. Mittleres Thalgefälle endlich bedeutet den Winkel, der die von der Thalmündung nach dem Schlusspunkt gezogene Gerade mit der horizontalen einschliesst. Sehr verdienstlich ist v. Sonklar's Abgrenzung des Begriffes Gebirgssockel. „Unter dem Sockel des Gebirges versteht man jene im Meeresniveau beginnende prismatische Erdmasse von horizontaler Oberfläche, auf welcher die Gebirgskämme als dreiseitige Prismen aufgebaut sind. Sie hat die horizontale Area des Gebirges zur Grundfläche, deren Grösse mittelst der Karte bestimmt werden kann. Durch die rationale Ermittelung der Sockelhöhe wird die Gebirgsmasse in zwei Körper von bekannten Dimensionen getheilt, und zwar in den Sockel einerseits und in die zu einer Summe vereinigten Gebirgskämme andererseits. Sockelhöhe ist die Summe der Produkte der mittleren Thalhöhen in die dazu gehörigen Thallängen, dividirt durch die Summe eben dieser Thallängen."

Fig. 98.



Zum Schlusse noch ein Wort über Volumbestimmungen bei Gebirgen [74]. Kubikinhalt des Sockels ist naturgemäss das Produkt aus Area und Sockelhöhe. In Fig. 99 ist A der Gebirgssokel, B der aufgesetzte Kamm, dessen Kantenlänge nach Vorschrift, wenn l eine einzelne Länge bedeutet, durch Σl auszudrücken ist. b ist die mittlere Kammhöhe, a die Sockelhöhe, $b - a = c$ also die relative mittlere Kammhöhe, φ der mittlere Neigungswinkel der Kammgehänge, F die Area. Unter diesen Umständen bestehen, wenn V_1, V_2 und V die Volumina des Sockels, der vereinigten Kämme und des Gesammtgebirges bedeuten, die folgenden Gleichungen*):

Fig. 99.



$$V_1 = a \,.\, F, \quad V_2 = \Sigma\Sigma l \,.\, c^2 \,.\, \mathrm{cotg}\, \varphi, \quad V = V_1 + V_2.$$

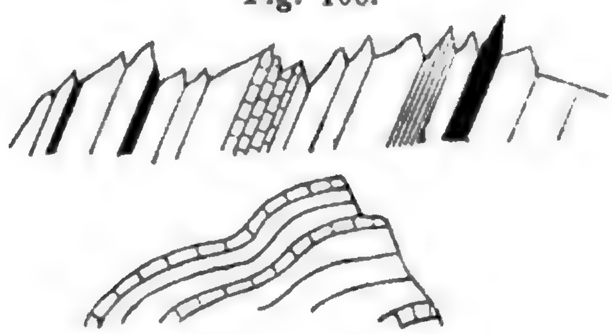
§. 4. **Beziehungen zwischen Geognosie und Oroplastik.** Es ist im Allgemeinen kein Zufall, wenn der Reisende in gewissen Gegenden auch ganz bestimmte Gebirgsformen antrifft, vielmehr kann als ein ganz durchgreifender Satz der folgende ausgesprochen werden: Der geognostische Aufbau eines Gebirges spiegelt sich wieder in der Physiognomik desselben**). v. Sonklar giebt einige

*) Im Originale sind diese Relationen leider durch mancherlei Irrungen entstellt.

**) Eine unbewusste Ahnung von diesem Verhalten überkommt auch den gewöhnlichen Touristen, den sein Weg aus den Centralalpen mit ihren majestätisch-ruhigen Formen in die Dolomitwildniss von Ampezzo und Buchenstein führt.

generelle Gesichtspunkte zur Beurtheilung dieser Wechselbeziehung [75]. Krystallinische Massengesteine, Gneiss und Urschiefer bilden meist Hügel und Berge mit sanft geböschten Hängen; da wo sie von einer stärkeren Kraft zu grösserer Höhe emporgetrieben wurden, erscheinen diese Gesteine mehr in prallen, massiven Formen mit scharfkantigen Rändern. Kalkstein, Dolomit und zum Theil auch Sandstein pflegen, was mit ihrer geringeren Widerstandsfähigkeit gegen erosive Wirkungen zusammenhängt, im Hochgebirge plateauartig ausgebreitete Massive mit wild zerklüfteter Oberfläche zu liefern. Thongebilden sind sanfte, von Felsen freie Gehänge eigen. Granit und Syenit entwickeln sich in grösserer Höhe zu einem Relief von plastischer Grossartigkeit, wie — weit mehr als die von unserer Vorlage mit aufgezählte Montblancgruppe — Tatra und Himálaya beweisen. Porphyr und Melaphyr kommen gerne in Gestalt unregelmässig abfallender Plateaux vor, der Phonolith charakterisirt sich durch die sonderbare Hügelform der Hegauer Erhebungen (Hohentwiel mit Annexen). Am unabhängigsten von irgend einer festen Regel halten sich die plutonischen Gesteine Basalt und Trachyt*). Bei geschichteten Gesteinen bestimmt selbstverständlich die Streichungsrichtung den Steilheitsgrad, wie wir aus Fig. 100 entnehmen. Wenn man monographische Schilderungen

Fig. 100.



bestimmter Oertlichkeiten vergleicht, kann man zu den vorstehenden Angaben mancherlei Belege sich sammeln. So hebt Delitsch den sanft welligen Charakter des Devons und Silurs im rheinisch-belgischen Steinkohlengebirge hervor; ebenderselbe Autor sagt von der am Harz und am Thüringer Walde sich vornämlich bethätigenden Formation [77]: „Die Trias tritt, als ein bereits vor der Jura- und Kreidezeit der Erdbildung gehobener Meeresboden, hauptsächlich in Plateauform auf, und die einzelnen Abtheilungen pflegen sich terrassenförmig zu gliedern." Sehr hübsche Beiträge zur besseren Kenntniss der uns hier beschäftigenden Fragen liefert ferner eine Abhandlung von Hammer [78], in welcher namentlich die als Klingen oder Einschläge bekannten Seitenthälchen morphographisch analysirt werden. Ihre Bildung ist ganz verschieden im Buntsandstein — Schwarzwald — und im Keuper — rauhe Alp. Auf geognostische Verhältnisse wird auch stets bis zu einem gewissen Grade zurückgegriffen werden müssen, wenn es sich

*) Ob wohl mit Rücksicht auf diese Neigung der Steinart zu regelloser Gestaltung der Abbé Girand-Soulavie in seiner „Histoire naturelle de la France méridionale" den Satz leistete: „Die Bewohner basaltischer Gegenden sind schwer zu regieren, aufrührerisch, irreligiös; Basalte sind ein Beforderungsmittel zur schnellen Ausbreitung der Reformation" [76]?

um Eintheilung eines grösseren Gebirgssystemes in distinkte Untergruppen handelt*).

Eine ebenfalls rein geognostische Eintheilung der Thäler in **Komben** und **Klusen**, die resp. ein synklinales und ein antiklinales Einfallen der Schichten aufweisen, sei hier nur erwähnt. Man führt dieselbe häufig in regionalen Detailbeschreibungen an**), doch wird sich im orogenetischen Theile die Nothwendigkeit anderer Bestimmungen herausstellen.

[1] H. Berger, Die geographischen Fragmente des Eratosthenes, neu gesammelt, geordnet und besprochen, Leipzig 1880. S. 19. — [2] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877. S. 63 ff. — [3] Ibid. S. 94. — [4] Ibid. S. 148. — [5] Ibid. S. 220. — [6] E. Richter, Die historische Geographie als Unterrichtsgegenstand, Salzburg 1878. S. 19. — [7] Buache, Essai de géographie physique, où l'on propose des vues générales sur l'espèce de charpente du globe, composée de chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres, Mém. de l'acad. des sciences de Paris, Année 1756. S. 399 ff. — [8] Ibid. S. 408. — [9] J. Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. v. F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 523. — [10] F. Schultz, Ueber den allgemeinen Zusammenhang der Höhen, Weimar 1803. — [11] Desmarest, Artikel „Géographie physique" der Gr. Encyklopädie. — [12] Otto, Vermischte Beiträge zur physikalischen Erdbeschreibung, Brandenburg 1773. — [13] J. C. Zimmermann, Ueber die Strukturverhältnisse der Gebirgsarten, Heidelberg 1805. — [14] H. Berghaus, Allgemeine Länder- und Völkerkunde, 2. Band, Stuttgart 1838. S. 436. — [15] Bruhns, A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie, 3. Band, Leipzig 1872. S. 194 ff. — [16] Ibid. S. 196. — [17] Ebel, Ueber den Bau der Erde in den Alpengebirgen und über den Bau der Erde überhaupt, Zürich 1808. — [18] Börsch, Von den Unebenheiten des festen Landes, insbesondere vom Gebirge, Marburg 1817. — [19] C. Ritter, Die Erdkunde im Verhältniss zur Natur und Geschichte des Menschen oder allgemeine vergleichende Geographie, 5. Theil, 2. Buch, 4. Band, Berlin 1835. S. 651. — [20] v. Sonklar. Die Gebirgsgruppe des Hochschwab, Wien 1859; Die Gebirgsgruppe der hohen Tauern, ibid. 1866; Die Oetzthaler Gebirgsgruppe, Gotha 1860; Die Zillerthaler Alpen, ibid. 1872. — [21] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, Die Lehre von den Reliefformen der Erdoberfläche, Wien 1873. — [22] v. Barth-Pfaundler, Die Stubayer Gebirgsgruppe, Innsbruck 1865. — [23] Waltenberger, Orographie der Allgäuer Alpen, Augsburg 1881; Orographie des Wettersteingebirges und der Miemingerkette, ibid. 1881. — [24] Partsch, Carl v. Sonklar, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 1885. S. 23 ff. — [25] Diener, Mr. W. W. Graham's Hochtouren in Sikkim, Gurhwal und Kaanoor, ibid. 1885. S. 38. — [26] v. Sonklar, Allg. Or., S. 29. — [27] Ibid. S. 32 ff. — [28] Roudaire, Une mer intérieure en Algérie, Paris 1874. — [29] Ibid. S. 24 ff. — [30] Martins-Desor, Observations sur le projet de la création d'une mer intérieure

*) Wir haben hier in erster Linie die Eintheilung unserer Alpen im Sinne, um die sich seit den sechziger Jahren Viele — es seien nur **v. Sonklar**, **v. Haardt**, **Ilwof** und **Emmrich** genannt — bemüht haben. Neuerdings hat der Klassifikationsversuch von **Czech** viel von sich reden gemacht, durch welchen in den Westalpen 8, im Mittelstück 12 und in den Ostalpen ebenfalls 12 distinkte Unterabtheilungen unterschieden werden, und zwar eben wesentlich auf Grund geognostischer Scheidungsmomente [79]. Dass schon die Umgrenzung der Alpen nicht blos auf rein morphographischem Wege erfolgen könne, hat **C. Neumann** ausser Zweifel gesetzt [80]; allerdings unterschätzt dieser gründliche Forscher auch die Reliefverhältnisse nicht, denn [81] „durch die Irregularität der Kamm- und durch die Wildheit der Gipfelbildung stehen die Alpen im schärfsten Kontrast zu den unmittelbar an sie herantretenden Gebirgen".

) So beschreibt z. B. [82] **V. Hartmann den westlichen Theil des vom Ossiacher See (in Kärnthen) erfüllten Längsthales als ein Klusenthal und den östlichen Theil ebendesselben als ein ausgesprochenes Kombenthal.

dans le Sahara oriental, Compt. rend. de l'ac. franç., Vol. LXXXVIII. S. 265 ff. — [31] Zenker, Ueber das Depressionsgebiet der libyschen Wüste und den Fluss ohne Wasser, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 7. Band. S. 209 ff. — [32] Der geologische Bau der Sahara, Gaea, 20. Jahrgang. S. 623 ff. — [33] O. Schneider, Ueber die Entstehung des todten Meeres, ibid. 7. Jahrgang. S. 325 ff. — [34] Ibid. S. 336 ff. — [35] v. Sonklar, Allg. Or., S. 57 ff. — [36] Ibid. S. 64 ff. — [37] Ibid. S. 66 ff. — [38] v. Sonklar, Der grosse Schuttkegel von Wiener-Neustadt, Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 43. Band. S. 233 ff. — [39] v. Sonklar, Der Schwemmkegel von Innsbruck und die Grundwasserverhältnisse desselben, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 18 ff. S. 66 ff. S. 111 ff. — [40] Boussinesq, Essai sur la théorie des eaux courantes, Mém. présentées pour divers savants, tome XXIII. S. 154 ff. — [41] Ibid. S. 165. — [42] C. Jordan, Sur les lignes de faîte et de thalweg, Compt. rend. de l'ac. franç., Vol. LXXIV. S. 1457 ff.; Vol. LXXV. S. 625 ff. S. 1023 ff. — [43] Boussinesq, Sur les lignes de faîte et de thalweg, ibid. Vol. LXXV. S. 198 ff. S. 835 ff. — [44] Boussinesq, Théorie etc., S. 170. — [45] Ibid. S. 173 ff. — [46] Quidde, Kurven gleicher Steilheit auf Flächen zweiten Grades, Stargard 1879. — [47] v. Sonklar, Allg. Or., S. 70 ff. — [48] Ibid. S. 84 ff. — [49] Ibid. S. 80 ff. — [50] Ibid. S. 95 ff. — [51] Ibid. S. 97 ff. — [52] Bruhns, A. v. Humboldt, 1. Band. S. 171. — [53] Krümmel, Beiträge zur allgemeinen Orographie, Ausland, 1882. S. 703 ff. S. 731 ff. — [54] Ibid. S. 734. — [55] Kjerulf, Die Geologie des südlichen und mittleren Norwegen, deutsch von Gurlt, Bonn 1880. S. 332. — [56] v. Petrino, Entstehung der Gebirge, Wien 1879. S. 57 ff. — [57] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 313. — [58] Stapff, Ueber Veränderungen im Abflusse von Seen, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1882. S. 110 ff. — [59] Supan, Grundzüge etc., S. 367. — [60] v. Sonklar, Allg. Or., S. 112. — [61] Buchner, Nochmals das hessische Erdbeben, Gaea, 7. Jahrgang. S. 356 ff. — [62] Midgley, Earth pillars, Nature, Vol. XVIII. S. 569. — [63] Pechuël-Lösche, Der Gebirgslauf des Congo, Verhandl. d. III. d. Geographentages, Berlin 1883. S. 12 ff. — [64] Regnet, Aus dem Allgäu, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 509. — [65] v. Sonklar, Allg. Or., S. 119 ff. — [66] Güssfeldt's Reise in den centralen chileno-argentinischen Anden, Gaea, 20. Jahrgang. S. 577 ff. — [67] v. Sonklar, Allg. Or., S. 125 ff. — [68] Ibid. S. 31 ff. — [69] Tyndall, In den Alpen, Braunschweig 1872. S. 219 ff. — [70] v. Sonklar, Allg. Or., S. 133 ff. — [71] Ibid. S. 135 ff. — [72] Ibid. S. 175 ff. — [73] Humboldt, Versuch, die mittlere Höhe der Kontinente zu bestimmen, Ann. d. Phys. u. Chem., 57. Band S. 411 ff. — [74] v. Sonklar, Allg. Or., S. 189 ff. — [75] Ibid. S. 74 ff. — [76] Bruhns, A. v. Humboldt, 1. Band. S. 94. — [77] Delitsch, Deutschland's Oberflächenform, Breslau 1880. S. 40. S. 46. — [78] Hammer, Die orographische Gestaltung Württemberg's und sein geologischer Bau, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 93 ff. S. 148 ff. — [79] Czech, Beitrag zur naturgemässen Eintheilung der Alpen, Düsseldorf 1883. — [80] C. Neumann-Partsch, Die Grenzen der Alpen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 13. Band. S. 189 ff. — [81] Ibid. S. 203. — [82] V. Hartmann, Das Ossiacher Seethal und seine Ränder, Klagenfurt 1882.

Kapitel III.

Schnee und Eis der Hochgebirge; Glacialphysik und Glacialgeologie.

§. 1. **Schnee- und Firngrenze.** Je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, um so mehr nimmt (S. 255 dieses Bandes) die Wärme derselben ab*). Die Luft wird immer dünner und büsst dadurch an

---

*) Neuere Beobachtungen geübter und wissenschaftlich gebildeter Alpinisten, z. B. Penck's, haben keinen Zweifel mehr darüber gelassen, dass diese Behauptung nur bedingt richtig und dass im Winter die Temperatur auf Berggipfeln oft ein

Fähigkeit, sich zu erwärmen, ein, und hiedurch wird, wie man aus der diese Fragen zum erstenmale recht gründlich mit den Hülfsmitteln der neueren Physik diskutirenden Abhandlung von Güssfeldt lernt [1], der Kreislauf des Wassers wesentlich modificirt. Die in die Nähe hoher Gebirge gelangenden Wasserdämpfe werden kondensirt und in Eis verwandelt, allerdings nicht für ewige Zeiten, da sich das Eis in Folge seines Schwergewichtes nach unten bewegt. In der Ebene ändert sich dieses Verhältniss insoferne, als das Eis gegen den Sommer hin sich wieder in flüssiges Wasser umsetzt. Es muss sonach eine Grenze geben, längs deren beide Gebiete eines verschiedenen Verhaltens an einander stossen. Diese Linie heisst Schneegrenze; oberhalb derselben fällt mehr Schnee, als weggethaut wird, während unterhalb der Schneefall nicht mehr die gleiche Energie besitzt. Nicht allein die Jahresisothermen, sondern auch die Niederschlagsmengen bestimmen den Verlauf der Schneegrenze, welche sonach ersichtlich klimatologischen Schwankungen unterliegt, welche dauernd zu überschreiten jedoch nur ein Recht der Gletscher ist. Aehnlich definirt v. Sonklar [2]: Die untere Grenze an den Berghängen, jenseits deren der im Winter gefallene Schnee den vereinigten Einwirkungen der Sonnenwärme und der Verdunstung dauernd widersteht, heisst untere Grenze des ewigen Schnee's*). Oberhalb der Schneegrenze beginnt die Schneeregion. Es ist diesen doch wahrlich wohl beglaubigten Thatsachen gegenüber schwer verständlich, dass ein Gebirgskenner ersten Ranges, wie Payer, das Dasein einer Schneegrenze überhaupt in Abrede stellt; es gäbe nur eine Firngrenze, die obere Grenzlinie des eigentlichen Gletschereises [3]. Allerdings ist diese letztere auch vorhanden, allein sie kann, regellos und in einzelne Stücke zerrissen, wie sie ist, keinen Anspruch auf gleiche Berücksichtigung erheben, wie erstere, deren Zug immerhin eine gewisse Gesetzmässigkeit verräth, es müsste denn die von Stapff (s. u.) ausgesprochene Vermuthung von der Koincidenz der unteren Firngrenze mit einer bestimmten Temperaturkurve sich vollkommen bestätigen.

Die einzige uns bekannte Tabelle gemessener Schneelinienhöhen hat Hällström ausgearbeitet [4]. Dieselbe beruht hauptsächlich auf den Messungen von Bouguer [5], A. v. Humboldt [6], L. v. Buch [7], De la Condamine [8], Ali Bey [9], Wahlenberg [10], Parrot [11], und D'Aubuisson [12]. Obzwar ein wenig veraltet, scheint sie uns ihres umfassenden Charakters halber gleichwohl würdig, auch an diesem Orte ihren Platz zu finden. Nur wurden die Angaben in das uns geläufige Maassystem umgerechnet**).

---

weit höhere ist, als unten im Thale. Natürlich muss diese Anomalie eine obere Grenze haben, weil ausserdem der „ewige" Schnee der Hochgebirge schmelzen müsste.

*) v. Sonklar macht (a. a. O.) darauf aufmerksam, dass zur richtigen Würdigung der Schneelinie die Betrachtung eines Gebirgszuges aus einiger Ferne die unerlässliche Vorbedingung sei. Natürlich kommen auch jenseits der Schneegrenze von Schnee entblösste Stellen vor, schroffe Wände, an denen kein fremder Körper haften bleibt.

**) Ein Pariser Fuss ward gleich $\frac{1}{3,1}$ m gesetzt, Decimaltheile aber wurden grundsätzlich, da bei solchen Beobachtungen an grosse Genauigkeit doch nicht zu denken ist, zu Ganzen abgerundet.

Geogr. Breite.	Ort	Höhe d. Schnee-gr. in m.	Autor.	Geogr. Breite.	Ort.	Höhe d. Schnee-gr. in m.	Autor.
0° 0′	Pichincha	785	Bouguer	45°30′	Schwz. Alpen	458	v. Buch
0 0	Quito	787	Humboldt	45 30	Cramont	452	Saussure
0 0	Quito	795	„	45 45	Montblanc	419	„
0 3	Popayan	784	„	46 0	Schwz. Alpen	442	Wahlenberg
0 10*)	Pichincha	790	De la Condamine	48 30	Tyr. Alpen	376	Schultes
19 0	Mexiko	784	Humboldt	49 11	Karpathen	430	Wahlenberg
19 12	Nevada	762	„	50 34	Schneekoppe	373	v. Buch
20 0	Mexiko	781	„	53 0	Kamtschatka	188	Wahlenberg
20 0	Mexiko	616	„	60 0	Norw. Küste	258	v. Buch
28 17	Pic de Teyde	741	Borda	61 0	Suletind	248	„
30 0	Himálaya	612	Humboldt	62 0	Snöhättan	301	Wahlenberg
31 0	Atlas	621	Ali Bey	62 0	Norwegen	290	v. Buch
31 30	Himálaya	587	Humboldt	62 0	St. Eliasberg	247	Wahlenberg
33 0	Libanon**)	489	Wahlenberg	62 12	{ Norwegen	282	Hisinger
33 16	{ Ostindien	583	Webb	62 30		261	v. Buch
35 0		581	Humboldt	63 0	{ Schweden	266	Hisinger
37 33	Aetna	532	Saussure	63 26		255	„
40 0	Alpen	516	Humboldt	65 0	Island	161	Olafsen
42 31	{ Pyrenäen	469	Saussure	66 30	Schweden	216	v. Buch
42 45		452	Humboldt	67 5	Sulitelma	167	Wahlenberg
43 0	Elbrus.	531	Parrot	67 6	Valli in Schw.	220	„
43 0	Mont Perdu	435	Wahlenberg	67 20	Tulpajegma	161	„
43 0	Süds. d. Pyr.	404	Ramond	70 0	Alten in Norw.	177	v. Buch
45 0	{ Süds. der	414	Humboldt	70 38	Hammerfest	135	„
45 30	Alpen	496	D'Aubuisson	71 0	Nordkap	118	„

Zu dieser Tabelle, an welche **Hällström** manche interessante Bemerkung anknüpft***), lassen sich selbstverständlich massenhaft Nach-

*) Die einzige Messung aus der südlichen Hemisphäre, welche in der Tafel enthalten ist.

**) Hällström verweist wegen dieses Gebirges auf die „Orthographia" eines gewissen Gregorius, welcher zufolge „Lebanon" einen weissen Berg bedeute.

***) Nachdem Hällstrom aus seiner Tabelle alle der Herrschaft des Küstenklima's unterworfenen Beobachtungsstationen ausgeschieden und sich ferner dahin entschieden hat, dass Europa und Südamerika gesondert zu betrachten seien, geht er (a. a. O.) dazu über, das seine Zahlen beherrschende Gesetz ausfindig zu machen; die Schneegrenze sei ihrer Meereshöhe nach für einen bestimmten Platz eine Funktion von dessen mittlerer Jahrestemperatur, und diese wiederum sei eine Funktion der Polhöhe φ. Mit Rücksicht auf Tobias Mayer's Temperaturformel [13] setzt er die Seehöhe A der Schneelinie, unter m und n gewisse Erfahrungskonstante verstanden, gleich $m - n \sin^2 \varphi$, alsdann aber gleich $a + b \sin \varphi + c \sin^2 \varphi$, wo auch wieder a, b, c durch Erfahrung zu bestimmen sind. Die vierzig nach Hällström's Auffassung vergleichbaren Werthe, welche in den obigen fünfzig enthalten sind, liefern ihm 40 Bedingungsgleichungen; dieselben werden, wie wir auf Seite 115 dieses Bandes lernten, nach Maassgabe des Verfahrens der Wahrscheinlichkeitsrechnung behandelt, und es ergeben sich die Gleichungen

$$39{,}0000\,a + 25{,}8816\,b + 20{,}8867\,c = 51\,361{,}00;$$
$$25{,}8816\,a + 20{,}8867\,b + 17{,}4414\,c = 26\,214{,}74;$$
$$20{,}8867\,a + 17{,}4414\,b + 14{,}8781\,c = 19\,317{,}89.$$

Daraus folgt: $A = 2462{,}4 + 293 \sin \varphi - 2501{,}8 \sin^2 \varphi$; der wahrscheinliche Fehler soll 20,5 Meter betragen. Für den Pol ($\varphi = 90^0$) folgt $A = 253{,}6$ m, was allerdings a proiri nicht zu erwarten ist und von Hällström auf lokale Ursachen zurückgeführt wird — mit denen derselbe überhaupt nichts weniger denn sparsam umgeht. Dass die für A erhaltene Formel ein wirkliches Naturgesetz involvire, davon kann natürlich keine Rede sein; wir selbst würden übrigens aus theoreti-

träge aus neuerer Zeit erbringen, doch müssen wir uns hier mit Wenigem begnügen. Hermann v. Schlagintweit bestimmt [14] die Höhe der Schneegrenze für den Südabhang des Himálaya zu 4930 m, für dessen Nordabhang zu 5671 m, für die tibetanische Karakorumkette zu 5823 m, für Süd- und Nordseite des Küen-Lün resp. zu 4817 und 4604 m*). Für den Kaukasus liegen neuere Messungen Stebnitzki's vor [15]. Danach läuft am Südabfall die Schneelinie 2933 m hoch im Westen, 3232 m hoch im Mitteltheile, 3719 m im Osten, während sie sich im nördlichen Theile des Gebirges, wo andauernd trockene Nordwinde wehen, um 300 bis 450 m nach oben verschiebt. Die ausgiebigsten Zusammenstellungen aus neuerer Zeit verdankt man H. Berghaus, der in seinen Hypsometertafeln [16] überall, wo ihm Daten vorlagen, auch den Zug der Schneegrenze vermerkte. Auch Grad gab in seinem Vortrage „La limite des neiges persistantes et la lisière des glaces fixes à la surface du globe", gehalten vor der „Association française" am 26. August 1875, eine Liste dieser Art für vierzig Gebirgsländer der Erdoberfläche. Auf diesen Angaben weiterbauend hat Penck eine schöne Karte der europäischen Linien gleicher Schneegrenzenhöhe, der Isochionen, konstruirt, welche von ihm seinem Vortrage über Glacialreste aus der Eiszeit [17] beigegeben ward. Derselbe gieng jedoch noch um einen Schritt weiter und verzeichnete auf der nämlichen Karte die Isochionen der Eiszeit**). Seine Darstellung liefert uns so ein übersichtliches Bild für jene Verschiebung der klimatischen Verhältnisse, durch welche wir im neunten Kapitel der fünften Abtheilung das Eintreten der Eisperiode bedingt erfanden. Feste Regeln zu geben, nach denen sich, wenn gewisse Data bekannt sind, die Schneelinie mit leidlicher Sicherheit verzeichnen liesse, wird niemals angehen; nur allgemeine Anhaltspunkte kann die Wissenschaft liefern, und diese hat A. Heim in seinem grossen, für dieses Kapitel unsere Hauptquelle bildenden Werke über die Gletscher formulirt [19]***).

---

schen Gründen der Formel ($m - n \sin^2 \varphi$) den Vorzug geben, da dieselbe für positive und negative Werthe der geographischen Breite unterschiedslos gilt. Hievon abzugehen, halten wir nicht für erlaubt.

*) Diese Zahlen beziehen sich allerdings eigentlich auf jene Grenzmarke, welche bei v. Schlagintweit den Namen mittlere Schneehöhe führt, und jenseits deren wenigstens 45 von den 90 Tagen der betreffenden Jahreszeit Dauerschnee aufzuweisen haben. Die Höhe des ewigen Schnee's im Karakorum erscheint als die zur Zeit überhaupt bekannte Maximalhöhe der Schneegrenze, was mit der Geringfügigkeit der dortigen Niederschlagsmenge zusammenhängt.

**) Der genannte Gelehrte gieng dabei aus von dem durch Höfer [18] wahrscheinlich gemachten Erfahrungssatze, dass für eine Anzahl heute noch bestehender Gletscher (Pasterze, Gepatsch-, Mittelberg-, Gorner-, Lys-Gletscher) die absolute Höhe der Firnlinie das genaue Mittel zwischen der Umrahmung des Firnfeldes und der Höhe des Gletscherrandes sei.

***) Heim unterscheidet vier Möglichkeiten. „1. Schneefall gross, Schmelzwärme gross. Daraus resultirt ein relativ mittlerer Stand der Schneelinie, wie wir ihn z. B. in den Alpen, im südlichen Himálaya und in Norwegen finden. 2. Schneefall gross, Schmelzwärme klein. Giebt den relativ tiefsten Stand der Schneelinie, wie wir ihn auf der Südhalbkugel, südlich von 46° Breite, finden. 3. Schneefall klein, Schmelzwärme gross. Giebt die relativ höchste Lage der Schneelinie, wie z. B. im nordamerikanischen Felsengebirge, in den Tropen von Amerika und Afrika. 4. Schneefall klein, Schmelzwärme klein. Giebt einen mittleren bis hohen Stand der Schneelinie, wie z. B. im britischen Nordamerika, in Nordsibirien." Die Jahresisothermen, welche stellenweise in ihrem Verlaufe mit Theilen der Schneegrenze sich decken, können auf 20 Grade auseinandergehen.

Die Frage, ob in historischen Zeiten eine merkliche Vertikalschwankung der Grenze der Schneeregion nachzuweisen sei, wurde im Jahre 1820 von der schweizerischen Gesellschaft der Naturwissenschaften zum Gegenstande einer Preiskonkurrenz gemacht, an welcher Venetz [21] und Kasthofer sich betheiligten; letzterer konnte sich dabei auf eine ältere Veröffentlichung [20] stützen. Venetz kam zu dem Schlusse, dass eine Depression der Schneelinie nicht zu verkennen sei, auch Kasthofer gab ein Zurückweichen der Vegetationsgrenze vor der erobernden Schneeregion zu, deren Fortschritte z. B. die früher im Hasli-Thale schwunghaft betriebene Obstbaumzucht unmöglich gemacht hätten. Immerhin ist Dufour [22] geneigt, zwar ein Herabsteigen der Waldgrenze, nicht aber ein solches der Schneegrenze zuzugestehen.

§. 2. **Lawinen.** Viel berufen und viel gefürchtet, hat dieses grossartige Naturereigniss doch erst in den allerletzten Jahren eine entsprechende wissenschaftliche Beachtung und eine modernen Ansprüchen genügende Behandlung in Coaz's trefflicher Monographie [23] gefunden*). Die Lawine (im Schweizer Idiom „Laui" oder „Löwene", im Tyroler Deutsch „Lähn", französisch „avalanche", italienisch „avalanga" und dialektisch „luvina") bedeutet, wie schon die Etymologie des Wortes andeutet (labor, ich gleite, falle), eine fallende Schneemasse. Man hat, wenn der Vorgang analysirt werden soll, zu beachten, welches das Sammel- oder Abrissgebiet der Lawine ist, welchen Weg sie nimmt, d. h. auf welcher Sturzbahn sie sich bewegt, und wo die von ihr fortgeführten Massen liegen bleiben (Ablagerungsgebiet). Die Sammelgebiete liegen meistens oberhalb der Waldregion; die Lawinen reissen verwüstend ihre Furchen in die Wälder, kommen aber selten bis zu den tieferen Partieen der Thäler herab — wenigstens in den Alpen, denn in Skandinavien erreichen sie häufig die Fjorde. Jene Rinnen, in welchen der stets massenhaft aufgespeicherte Verwitterungsschutt des Hochgebirges zu Thal stürzt (Steinschlagrinnen), werden auch von den Lawinen des Winters und Frühlings gerne zu ihrer Fortbewegung benützt. Lawinen sind in den Bergen nicht etwa eine Seltenheit, die Gotthardgruppe allein meist 530 deutlich ausgeprägte Zugstrassen auf**). Da, wo der fallende Schnee sich ungestört ansammeln kann, konsolidirt er sich entweder zu dicken Schneelagern, für die jeder Schweizer-Kanton so ziemlich seine eigene Provinzialbezeichnung hat, oder zu dünnen, überhängenden Schneeschildern („neige en surplomb", ladinisch „carungas") [26]***).

*) Einen sehr vollständigen Auszug daraus hat Heim in sein Werk aufgenommen [24], den Gegenstand aber selbst gründlich durchgearbeitet und seine Erkenntniss gefördert. Von anderen Gebirgsforschern Helvetien's ist zunächst Dufour der Frage näher getreten, ob wohl eine gewisse Disposition der Atmosphäre den Lawinensturz begünstige; er knüpft dabei an an die Warnungen der Mönche vom grossen Bernhard, im Winter bei dauernd bedecktem Himmel ihren Berg zu überschreiten [25].

**) Alle steilgeböschten, schneereichen Gebirge haben auch ihre Lawinen. Den Cevennen und Vogesen scheinen sie zu fehlen, dem Schwarzwald aber nicht.

***) Auch ohne Hochgebirge kann jeder Eisenbahnreisende sich oft genug von dem Vorhandensein solcher Schneeschilder an den Böschungen der beschneiten Bahndurchschnitte überzeugen.

Indem ein solcher Schneeschild durch seine eigene Schwere abbricht*), giebt er gewöhnlich den Anstoss zur Bildung einer Lawine, die rutschenden Theilchen reissen andere — nicht blos Schnee, auch Erde, Holz und Verwitterungsprodukte aller Art — mit sich fort, und es entsteht so nicht sowohl jener abrupte, diskontinuirliche Sturz, von welchem man in populären Beschreibungen liest, als vielmehr ein mehr plastischer als elastischer Strom, dessen Bewegungsart sich um so mehr derjenigen einer tropfbar flüssigen Masse nähert, je mehr Schnee fortgewälzt wird. „Die Lawinen sind periodische Schneeströme, ihre Bewegung ist vorwiegend ein Fliessen,“ Eis- oder Gletscherlawinen, die in seltenen Fällen auch — nach einem heftigen Hagelwetter — als Hagellawinen auftreten können, bilden eine Ausnahme; Staublawinen und Grundlawinen sind das Gewöhnliche. Erstere kommen mehr im strengen Winter vor, der rieselnde Schnee wirft sich als Sturzbach in die Tiefe, während die Grundlawinen („avalanches de fond“) durch das Frühjahrs-Thauwetter ausgelöst werden. Das den Schnee durchsickernde Schmelzwasser vermindert die Adhäsion desselben an den Boden oder höhlt dessen Massen wohl auch so sehr aus, dass durch irgend einen leisen Anstoss von aussen, etwa durch einen unvorsichtigen Tritt, das Schneelager in's Rutschen kommt. Im Inneren der Lawine vollziehen sich während ihres Falles Bewegungen aller Art, welche zu den seltsamsten Schneeballenbildungen führen. Wenn endlich der Kopf der Lawine an einem unüberwindlichen Hindernisse angelangt ist, dann pressen sich die noch in Bewegung befindlichen rückwärtigen Partieen auf die bereits zur Ruhe gekommenen, die Lawine „schreit“ (knirscht), und es bildet sich ein Lawinenkegel, der, ohne zu den grossen zu zählen, leicht ein Volumen von 10000 bis 20000 cbm hat. Diese Kegel pflegen die in ihnen enthaltenen Fremdkörper — Pflanzentheile, Gerippe von Thieren und Menschen — allmählig auszustossen und schmelzen im Sommer zu einem kothigen Trümmerhaufen zusammen.

Der Schaden, den eine Lawine bewirkt, kann ein doppelter sein. Staublawinen entfesseln durch ihre Aspirationswirkung einen heftigen Windschlag, der die stärksten Bäume zu knicken vermag, Grundlawinen wirken direkter durch ihren Schneeschlag [27]. Durch Verbauungen, Terrassirungen u. dgl. an Stellen, deren Heimsuchung durch Lawinen bekannt ist, kann vielem Unheil gesteuert werden, nicht minder auch durch gründliche Aufforstung an Waldblössen. Es ist bekannt, dass manche Ortschaften der Schweiz durch ihren Bannwald geschützt sind und dessen Integrität mit gutem Grunde ängstlich zu erhalten suchen**). Dass man dabei oft des Guten zu viel that und den Wald, statt ihm eine rationelle Pflege angedeihen zu lassen, geradezu verwildern liess, ist neuerdings von Stichler [28] als ein Grund für das Ausbleiben des von solchen Pflanzungen erwarteten und früher auch gewährten Schutzes angeführt worden.

---

*) Es ist diess im Kleinen der uns von früher (S. 437 dieses Bandes) bekannte Process des „Kalbens“.

**) „Und die Lawinen hätten längst
Den Flecken Altorf unter ihrer Last
Verschüttet, wenn der Wald dort oben nicht
Als eine Landwehr sich entgegenstellte.“
(Wilhelm Tell, III. Aufzug, 3. Scene.)

§. 3. **Von den Gletschern im Allgemeinen.** Die wissenschaftliche Erforschung der Gletscher gieng naturgemäss von deren Heimathland, von der Schweiz aus, und so kann es auch nicht Wunder nehmen, dass für die Anfangsgeschichte der Glacialforschung das biographische Werk eines schweizerischen Gelehrten, R. Wolf's, uns die werthvollsten Aufschlüsse ertheilt [29]. J. Scheuchzer studirte auf seiner grossen Reise von 1705 zuerst die Gletschererscheinungen, um welche sich vor ihm höchstens der Kosmograph Münster (S. 13 des ersten Bandes) einigermassen bekümmert hatte, und wies auf den damals noch allgemein verkannten Unterschied von Eis und Krystallen hin. In seine Fussstapfen trat Altmann, dessen Werk [30] als eine ganz wissenschaftliche Monographie im Style jener Zeit gelten kann, der übrigens selbst so aufrichtig ist, eine von einem gewissen Hottinger dem englischen Geologen Woodward gewidmete „Montium glacialium helveticorum descriptio" als eine Vorläuferin zu nennen, die ihm selber den Weg bereitet habe [31]. Altmann selbst drängt sein Wissen von den Gletschern in dem teleologisch gefärbten Satze zusammen [32]: „Die helvetische Eisberge, sind nichts anders als ein wahrhaftes und in allen Stücken vollkommenes Eismeer, welches von dem mächtigen und weisen Schöpffer auf diese hohe Berge gesetzet worden, damit dadurch die Luft der angränzenden Oerter gereiniget, und die Schweitz samt noch etwelchen anderen Ländern Europä mit Brünnen und Strömen versehen und bewässert würde." Bald nachher erschien Gruner's erstes Gletscherwerk [33], welchem später ein zweites nachfolgte [34]; steht dieser Autor auch noch im Wesentlichen auf einem ähnlich unfertigen physikalischen Boden, wie Altmann, so spricht er doch auch schon originelle glacialgeologische Ansichten aus. Ueber diese Vorgänger hinaus gieng Saussure, und diesem gefeierten Namen reihen sich diejenigen anderer hochverdienter Gletscherforscher an, unter denen es genügen möge, Venetz, Charpentier, A. Agassiz, Desor, Dollfus-Ausset, Hugi, Fröbel, Heer, Mousson, Tyndall, Grad, Forel, Rendu, Torell, E. Richter, Klocke, F. Pfaff und Simony zu nennen — eine stattliche, aber trotzdem alles eher als vollständige Reihe. Dem Züricher Mousson verdankt man das erste und für seine Zeit wahrlich erschöpfende Lehrbuch der Gletscherkunde [35], während Simony sich durch Ausarbeitung seiner bekannten Gletscherbilder [36] bestens um die Förderung des geographischen Lehrmittel-Apparates verdient gemacht hat. Der thätigste und glücklichste Arbeiter auf diesem ebenso schwierig als reizvoll zu bebauenden Felde ist jedoch, wie Jedermann neidlos einräumen wird, Albert Heim, der uns mit dem schon mehrfach citirten Handbuche beschenkt hat, nachdem schon vorher eine den Kern seiner theoretischen Ansichten enthaltende Studie von ihm publicirt worden war [37].

„Ueberall auf der ganzen Erde, wo ein zusammenhängenderes Relief in der Schneeregion liegt, entstehen Gletscher. Sie sind eine allgemeine Erscheinung" [38]*). Zum Beweise dieses Einleitungssatzes

---

*) So hat denn auch jede Sprache ihre Bezeichnung dafür. Der Gletscher heisst im Französischen „glacier" („serneille"), im Italienischen „ghiaccia" („vedretto", „ruize"), im Dänischen „sneebrae" oder „isbrae", im Lappländischen „jegna", im Isländischen „jökull". In deutschen Gebirgsmundarten finden sich die Worte „Firn", „Ferner", „Kees", „Kahr" vor. Bezüglich der Eskimosprache

von Heim wollen wir gleich an der Hand seines Buches [39] die geographische Vertheilung der Gletscher uns vergegenwärtigen. Innerhalb der Tropenzone fehlen die Gletscher gänzlich den Welttheilen Asien, Australien und Afrika, obwohl in letzterem verschiedene Berge in die Schneeregion hineinragen. Trotz der kolossalen Entwickelung der Cordilleren nach der Vertikaldimension sind Gletscher dort etwas Seltenes, und die vorhandenen sind unbedeutend. Was die nördliche gemässigte Zone anlangt, so sind die Alpen das klassische Land der Gletscher*), minder grossartig entfalten sich selbe in den Pyrenäen, während den höchsten Gipfelpunkten des Kaukasus eine starke Vergletscherung eignet. Isolirte Gipfel, mögen sie auch eine Höhe erreichen, wie der Demavend und der Fuji-no-jama, bringen es nicht zu eigentlicher Gletscherbildung. Der Himálaya ist, namentlich in dem westlichen Theile, ein grossartiges Gletschergebirge, nicht minder reich ist die Gletscherentwickelung da, wo Karakorum und Hindukusch aneinanderstossen [42]**). Der Thian-schan ist vergletschert, so gut wie gar nicht aber der Altai, was schon durch v. Cotta richtig auf die vom Himálaya auf alle darüber hinstreichenden feuchten Luftströmungen ausgeübte Kondensationswirkung zurückgeführt worden war [44]. Der gleiche Grund ist für den Gletschermangel Centralasien's überhaupt entscheidend. Der Ural ist selbst noch im hohen Norden gletscherfrei, von Kamtschatka ist Sicheres noch nicht zu berichten. In Norwegen ist Ueberfluss an grossen Gletschern vorhanden, Island hat deren viele, aber meist kleine [45]. „Nordamerika weist trotz seiner Höhen reich vergletscherte Gebirge nur in der Nähe des grossen Oceanes, und auch da nur nördlich von 43 ° n. Br. auf.“ Im Bereiche der südlichen gemässigten Zone begegnen wir namhaften Glacialerscheinungen in den südlichen Anden***) und auf der Südinsel von Neuseeland, mit welch' letzterem uns Haast genau bekannt ge-

---

giebt Heim (a. a. O.) an, sie bezeichne Gletscher durch „Soak“, allein diese Angabe möchte doch wohl einem Missverständnisse entsprungen sein. Bei Kane u. A. ist oft davon die Rede, dass die Eingeborenen das übereiste Grönland mit „Sermik-Soak“ bezeichneten: hierin ist Soak das Adjektivum, welches „gross“, und Sermik das Hauptwort, welches „Gletscher“, „Eisfeld“ bedeutet.

*) Der nördlichste Gletscher der Alpen ist das von E. Richter beschriebene, reizend gelegene „Blau-Eis“ in den Schlünden des Hochkalter bei Berchtesgaden, der mit dem durch den gleichen Autor bekannter gewordenen südlichsten Gletscher Europa's (in der Sierra Nevada) die Eigenthümlichkeit einer ungemein tiefen Lage gemeinschaftlich hat [40]; der östlichste Gletscher Italiens und so ziemlich der südöstlichste der gesammten Alpenkette ist das „Flitscher Kahr“ am Monte Canino, welchem Marinelli eine eigene Abhandlung gewidmet hat [41].

**) Shaw giebt in seinem turkestanischen Reiseberichte eine schöne Illustration einer der grossartigsten Glacialbildungen der Erde, des „Eismeeres“ am Ursprung der Shayok-Quelle des Indus. Dasselbe verdiene diesen Namen ganz unvergleichlich besser, als das mehr einem „Eisfluss“ ähnelnde „Mer de Glace“ von Chamouni [43].

***) Immerhin ist, wie Güssfeldt betont [46], die Art, wie das Eis im chilenischen Hochgebirge auftritt, eine von der alpinen Erscheinungsform sehr verschiedene. Der mauerartige Aufbau des Gebirges will es nicht recht zu Ansammlungen von Schnee und Eis kommen lassen, und wenn passende Firnmulden vorhanden sind, liegen sie häufig in zu geringer Hohe. Der Hochschnee erscheint gar oft zu bizarren Eisfiguren („penitentes“) emporgekräuselt; die Winde wehen den losen Schnee empor, und die Insolation bewirkt das Entstehen solcher Gestalten.

macht hat [47]. Heim, der von diesem Gletscherlande eine detaillirte topische Beschreibung entwirft, bemerkt am Schlusse derselben [48]: „In dem so mächtig vergletscherten Neuseeland sehen wir wieder, wie im Himálaya, in Südamerika, in Norwegen u. s. w. den Fall vor uns, dass warme oceanische Winde ziemlich unvermittelt auf ein hohes Gebirge stossen. Je dauernder und warmfeuchter der Wind, je höher und rauher das Gebirge, desto stärker der Schneefall und desto mächtiger die Gletscher." Wir wenden uns nun den kalten Zonen zu. Novaja Semlja besitzt in seinem südlichen Theile keine erhebliche Vereisung, weil es zwar im Winter ein kontinentales, im Sommer dagegen ein insulares Klima hat, Franz-Josephs-Land und Spitzbergen lassen das ewige Eis in allen Formen erkennen, und zwar tritt in letzerem Lande — vgl. die hieher gehörigen Bemerkungen in Kap. VI der sechsten Abtheilung — der Unterschied zwischen dem selbstständigen Lokalgletscher und dem Ausläufer des Binneneises deutlich hervor [49]. Jan Mayen hat Gletscher, Bären-Eiland hingegen nicht [50]. Für Grönland gilt, was schon von Spitzbergen gesagt ward; selbstständig individualisirte Gletscher finden sich mehr im Nordosten, wo das reicher gegliederte Relief der Berge günstigere Anlagestätten darbietet [51]. Westlich von Grönland hindern die niedrigen Jahrestemperaturen das Zustandekommen einer richtigen Vergletscherung, und Nordasien steht unter analogen klimatologischen Bedingungen, wie die Länder der nordwestlichen Durchfahrt, so dass man behaupten kann: Zwei Drittel des cirkumpolaren Umfanges der arktischen Region sind gletscherlos, und wenn das letzte Drittel andere Verhältnisse darbietet, so ist dafür in erster Linie die thermische Aktion des Golfstromes verantwortlich zu machen [52]. Die Verhältnisse des antarktischen Gürtels sind wenig erforscht, doch scheint daselbst auch für die Gletscherkunde kein grosses Ergebniss erwartet werden zu dürfen; „das in enormen Schichten gefrorene Meer hat hier die Oberhand, alles ist erstarrt — auch die Gletscher" [53]. Die schon halbpolaren Kerguelen-Inseln haben einige Gletscher aufzuweisen, und auch dem Viktoria-Lande fehlen dieselben nicht gänzlich.

Jeder Gletscher muss ein Nährgebiet sein eigen nennen, Firnmulden, in welchen sich der grobkörnige Firnschnee ablagert, und Gletscher im engeren Sinne ist der aus der Mulde abfliessende Eisstrom*). Das Firngebiet („glacier reservoir") gehört der Schneeregion an, jenseits der Schneegrenze beginnt die Gletscherzunge („glacier d'écoulement"). Diese von dem Bischof Rendu, einem der gründlichsten Kenner des Gletscherphänomenes, herrührenden Bezeichnungen [55] hat A. Heim adoptirt [56]**), und damit sind dieselben überhaupt der wissenschaftlichen Terminologie fest einverleibt. E. Richter möchte im Nährgebiete selbst wieder zweierlei Territorien unterscheiden: „die Firnfelder der meisten grossen sog. primären Gletscher lassen sich in zweierlei Räume scheiden, in

*) Von Helmholtz erfahren wir [54], dass der Vergleich der Gletscher mit Strömen auf Goethe zurückzuführen sei. Bei welcher Gelegenheit sich dem feinsinnigen Beobachter der Natur diese so richtige Wahrnehmung aufdrängte, sind wir leider nicht vermögend zu sagen.

**) Ein eingehendes Referat über Rendu's Glacialtheorie hat Hayes in seinen Reisebericht über die zweite Grinnell-Expedition aufgenommen [57].

die hochgelegenen Mulden und Berglehnen, welche die Ueberfülle des Schnee's enthalten, dann in eine Art von Sammelbecken; in welchem die Firnmassen zusammenströmen, um dann von hier aus erst als Gletscherzunge abzufliessen" [58]. Manche Gletscher sind einfach, viele aus einer Anzahl koordinirter Theile zusammengesetzt. Die grossen, tief hinabsteigenden Gletscher unterscheiden sich von den auf das Hochgebirge selbst beschränkten kleineren selbst so vielfach, dass man erstere als Thalgletscher — nach v. Hochstetter — oder Gletscher erster Ordnung — nach Saussure — den Jochgletschern, Hochgletschern oder Gletschern zweiter Ordnung gegenüberstellte [59]. Die Trennung ist natürlich keine scharfe, die für Gletscherlängen angegebenen Zahlen machen auch niemals auf absolute Genauigkeit Anspruch *). Verschieden ist auch der alpine, der norwegische und der grönländische Gletschertypus **), welch' letzterer sich namentlich quantitativ gegen die beiden anderen Typen abhebt; nur vereinzelte Felsgipfel, die Nunatak's der Eskimo's, steigen dort aus der Eiswüste empor, deren äusserer Rand kaum durch die Expeditionen von Helland und Nordenskiöld durchbrochen werden konnte.

Wenn ein Gletscher an einen besonders steilen Absturz des Gebirges gelangt, so kalbt er mitunter, bricht in seiner ganzen Mächtigkeit ab und stürzt als Gletscherlawine in die Tiefe [61]; die Besucher der Wengernalp wissen meist von solchen zu erzählen. Von den durch Gletscherbrüche nicht selten entstehenden Gletscherseen wird im nächsten Kapitel zu sprechen sein.

§. 4. **Die physikalische Beschaffenheit des Gletschereises.** Genaue Vergleichung der ombrometrischen Aufzeichnungen scheint dafür zu sprechen, dass in höheren Regionen das Quantitätsverhältniss des fallenden Schnee's zum fallenden Regen sich mehr und mehr zu Gunsten des ersteren verschiebt. Es ist zu vermuthen, dass, wenigstens in den Alpen, das Maximum des jährlichen Schneefalles in den unteren Theil der Schneeregion fällt, und dass schon dort mehr als die Hälfte der jährlichen Niederschlagsmenge in Schnee besteht, welcher dann noch höher oben das tropfbar flüssige Wasser so gut wie ganz verdrängt [62]. Der mehlige, trockene Schnee dieser hochgelegenen Gegenden heisst bei Agassiz „neige poudreuse", bei H. v. Schlagintweit Hörnerschnee, bei Hugi Hochschnee; er ist als eine feinkörnige Mischung von Eis und Luft anzusehen. Schon dieser Hochschnee macht in seinem eigentlichen Gebiete alle möglichen Processe der Umwandlung in wirkliches Eis durch, sei es, dass an seiner Oberfläche eine dünne Kruste, der sogenannte Eisfirniss, entsteht, sei es, dass das Sickerwasser minder mächtige Schneeschichten ganz durchdringt und bewirkt, dass diese zum Hocheis zusammengebacken werden [63]. Je geringer die Meereshöhe eines Schneelagers ist, um so mehr wird die bereits längere Zeit liegende Masse zu Ballungen geneigt, und auch dem Hochschnee ergeht es nicht anders,

*) Nach v. Sonklar [60] ist der längste Gletscher Europa's der grosse Aletsch-Gletscher, der längste überhaupt gemessene aber findet sich in der Mustagh-Kette am oberen Indus.

**) Vielleicht wäre, mit Rücksicht auf Güssfeldt's Eröffnungen (s. o.), noch ein vierter, ein chilenischer Typus zu kreiren.

er verwandelt sich, mitunter sehr allmählig, mitunter auch ungemein rasch, in Firn (névé), in eine feste, körnige Substanz ohne die bekannten, flimmernden Krystallnädelchen [64]. Natürlich vermag der kundige Forscher zwischen beiden Arten von Schnee mancherlei Uebergangsformen zu konstatiren. Der Firn ist geschichtet, indem Schmelzperioden und Schneefälle mit einander abwechseln. Der mit Flüssigkeit durchtränkte Schnee geht nach und nach in Eis über, zumal wenn die höheren Lagen durch den Druck ihres Gewichtes die Metamorphose beschleunigen; dieses Firneis ist zwar oft schon ganz fest, lässt aber durch die eingeschlossenen Blasen, die weisse Farbe und die unvollkommene Körnung deutlich erkennen, dass es nicht aus flüssigem Wasser durch Veränderung des Aggregatzustandes hervorgegangen ist [65] *). „Das Gletschereis bildet sich durch ganz allmählige, wahrscheinlich vorwiegend mechanische Umformung aus dem Firneis heraus" [67]. Während die für Eis sonst charakteristischen Kapillarspalten dem Firneise fehlen, sind sie im Gletschereis ausgiebig vorhanden; dieses Spaltennetz trennt die Gletschereismasse in einzelne polyedrische Stücke, die Gletscherkörner, welche eines verbindenden Zwischenmittels — Firncement — gänzlich entbehren. Je weiter thalabwärts das Gletscherkorn gelangt, umso blasenfreier, um so ähnlicher dem Flusseise wird es, und umso stärker prägt das Haarspaltennetz sich aus. Trotzdem finden sich auch im scheinbar reinsten Eise der Gletscher noch Fremdkörper-Einschlüsse aller Art vor [68]. — Im Uebrigen ist die Struktur des Gletschereises noch von mehreren Umständen abhängig, auf die wir nunmehr in der von Heim gewählten Reihenfolge näher eingehen wollen.

a) **Das Gletscherkorn.** Nach Hagenbach-Bischoff, der hierüber eine sehr anregende Abhandlung schrieb [69], war es Hugi, der zuerst auf das Gletscherkorn als einheitliches Krystall-Individuum hinwies [70]. Um diese seine Eigenschaft unzweifelhaft zu erkennen, muss man ein Korn mit der erwärmten Hand abschleifen und es dann im Polarisationsapparate untersuchen. Da treten dann die bekannten optischen Eigenschaften einaxiger Krystalle deutlich hervor, nämlich die Savart'schen Interferenzstreifen und die farbigen Hyperbeln in weissem Lichte bei zwei gekreuzten Platten. Die von Agassiz bemerkten und von Forel [71] durch Wachs- und Gipsabgüsse besonders genau untersuchten Oberflächenstreifen, welche an die Runzeln der Haut erinnern, stehen in enger Beziehung zur Krystallstruktur, insoferne sie einer zur Krystallaxe senkrechten Ebene angehören. Auch Tyndall's Schmelzfiguren [72], bald als Scheibchen, bald als schneeflockenähnliche Sternchen erscheinend, stehen mit ihrer Ebene senkrecht zur optischen Hauptaxe. Grad und Dupré waren der Meinung [73], dass jedes einzelne Gletscherkorn im Allgemeinen als die Weiterbildung eines Firnkornes anzusehen sei, allein, so wahrscheinlich die Transmutation auch a priori ist, für erwiesen kann sie noch keineswegs gelten. „Die Entstehung des Gletscherkornes ist

*) Helmholtz konstruirte eine cylindrische Presse, um die Erzeugung von Eiscylindern aus Schnee durch starken Druck sogar im Vorlesungsversuche zu demonstriren [66].

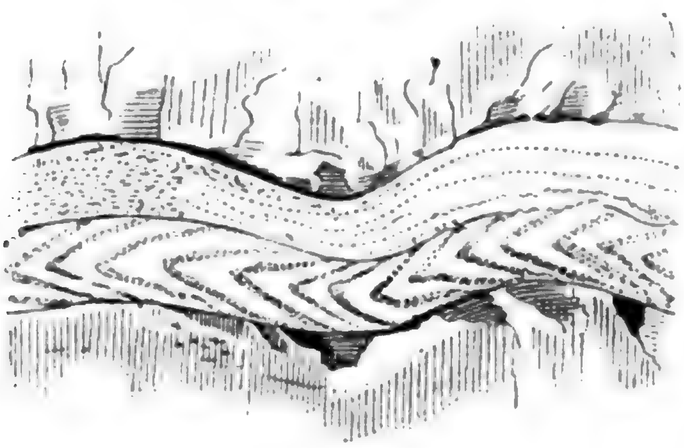
noch nicht aufgeklärt. Vom Hochschneenädelchen durch den Firnschnee bis zum Gletscherende wird das Material des Gletschers stets grobkörniger, die Kontinuität dieser Umwandlung ist aber noch nicht sicher erwiesen [74]*).

b) **Die Infiltrirbarkeit des Gletschereises.** Ob das Spaltennetz in dem Grade die Erscheinungen der Porosität darbietet, um Flüssigkeiten den Eintritt zu verstatten, ist noch nicht mit Sicherheit bekannt. Jedenfalls ist die äusserste Schicht der Infiltration am zugänglichsten. Forel [77] und Heim [78] finden, dass da, wo drei verschiedene Körner an einander grenzen, am ehesten wirkliche Kanäle oder Flüssigkeitswege auftreten.

c) **Die wirkliche Schichtung.** Dass eine solche Schichtung in den oberen Partieen des Gletschereises vorhanden ist, unterliegt keinem Zweifel, doch ist es nicht so leicht, wie Hugi es sich vorstellte, die einzelnen Lagen wirklich abzulösen. Durch die ganze Masse des Gletschers hindurch ist die Schichtung bisher nicht zu verfolgen gewesen.

d) **Die oberflächlichen Schmutzbänder.** Auf den meisten Gletschern beobachtet man oberflächliche Streifungen von dunklerer Farbe, welche von den Rändern her unter scharfem spitzem Winkel gegen die Längsaxe des Gletschers vordringen. In Fig. 101 geben wir nach Tyndall

Fig. 101.



[79] ein Bild von den Streifen des „Mer de Glace". Dieser Forscher benannte sie Schmutzbänder („dirtbands"), während v. Schlagintweit und Agassiz dafür die Namen Ogiven und Chevrons**) gebrauchten. Tiefer hinab können die Streifen nicht gelangen, denn

*) Eine bisher strittig gewesene Frage kann seit den neueren Untersuchungen Klocke's [75] als geklärt gelten. Grad-Dupré hielten dafür, dass die optischen Axen der Gletscherkörner nach einer bestimmten Richtung orientirt seien, und spätere Forschungen Bertin's, J. Müller's u. A. gaben kein sicheres Ergebniss für oder wider. Klocke aber ermittelte am Morteratsch-Gletscher, dass jene Regelmässigkeit in Wirklichkeit nicht vorhanden ist. Es ist diess schon deshalb klar, weil nach einer von Heim aufgemachten Rechnung [76] die von den Spältchen abgegrenzten Gletscherkörner der höher und tiefer gelegenen Partieen einander durchaus nicht entsprechen.

**) Diese Bezeichnung scheint uns der Sachlage gut zu entsprechen; in der Zeichnung sieht manche Gletscherzunge gerade so aus, wie der Rockärmel eines altgedienten Soldaten der Kaiserzeit mit seinen zahlreichen Chevrons (Dienstaltersauszeichnungen).

das Material dazu wird lediglich von Staub, Sand und Schlamm geliefert, welcher sich auf dem Gletscher ablagert und in Folge der Gletscherbewegung in der angegebenen Weise auseinandergezogen wird. Anderseits hängen übrigens die Schmutzbänder mit der sofort zu besprechenden Erscheinung zusammen [80].

e) **Blaublätterstruktur.** Im Allgemeinen ändert sich gegen das Gletscherende hin die Beschaffenheit des Eises insoweit, als stets deutlicher ein Lamellenbau hervortritt. Quer zu diesen Plättchen gesehen, behält das Eis seine bekannte, weisslich-trübe Farbe, wogegen es, wenn man das Auge in die Ebene einer solchen Lamelle bringt, als von schön blauen, durchsichtigen Streifen durchzogen erscheint. An der Oberfläche bilden diese Bänder, weil das blasige Eis viel leichter schmelzbar ist, als das blaue, Furchen, die, weil auf sie eine gleiche Dehnungsursache einwirkt, eine ähnlich gekrümmte Form annehmen, wie die Schmutzbänder (s. o.) und deshalb wohl auch Ogiven genannt werden. Diese Bandstruktur oder Blaublätterung („structure lamellaire“, „riboned structure“) ist seit Guyot [81]* ein beliebtes Untersuchungsobjekt der Glacialisten, doch hat es lange gedauert, bis man über ihre eigentliche Natur klar wurde. Agassiz rang sich, wenn auch nur mit Mühe und nach manchem Fehlgriffe, zu der Kenntniss durch [82], dass die Bänder nicht mit den Schichten einerlei seien, und Heim konnte unser geläutertes Wissen in dem Satze zusammenfassen [83]: „Alle Forscher, welche sich ganz speziell mit der Blaublätterstruktur abgegeben haben, wie Forbes, Schlagintweit, Tyndall, Agassiz, Sèvé, v. Sonklar, der Verfasser, sind durch ihre Beobachtungen, nicht durch Theorieen, zur Erkenntniss gezwungen werden, dass die Blaublätterstruktur nicht Schichtung, sondern Schieferung ist.“

f) **Die weissen Blätter.** Diese Bezeichnung („white ice-seams“, „bandes lactées“) bezieht sich auf die zwar blasenreichen, aber völlig von Fremdkörpern freien Eislamellen von blendend weisser Farbe, welche, in sehr wechselnder Breite und in das kompaktere bläuliche Eis eingebettet, sich oft über einen grossen Theil des Gletschers hin erstrecken, jedoch gar nicht tief in diesen eindringen. „Sie entstehen dadurch, dass der Winterschnee die Querspalten der Gletscherbrüche erfüllt und in denselben am Fusse des Bruches zusammengedrückt und eingeklemmt wird, bevor er schmelzen konnte“ [84]. Damit kann einstweilen das Kapitel von der Eisstruktur verlassen werden*). Die folgenden Abschnitte werden uns Gelegenheit geben, immer wieder auf einzelne Punkte dieser Lehre zurückzukommen.

§. 5. **Thatsächliches über die fortschreitende Bewegung des Gletschereises.** Schon die älteren Gletscherforscher waren sich dessen wohl bewusst, dass das Gletschereis nicht in Ruhe verharre. Altmann hat zwar keine vollkommen deutliche Vorstellung von der Art der

---

*) Tyndall unterscheidet [85] aus später zu erläuternden Gründen dreierlei verschiedene Strukturen des Gletschereises: die transversale, die durch Druck und Neigungswechsel, namentlich nahe dem Gletscherfusse, bedingt ist, die longitudinale, durch den beidseitigen Druck zweier lateraler Gletscher bewirkt, und die Randstruktur, veranlasst durch den aus der schnelleren Bewegung der Gletschermitte resultirenden Druck.

Bewegung, doch schliesst er auf eine solche aus der ihm bekannten Thatsache, dass Gegenstände, welche in eine Gletscherspalte fielen, lange nachher am unteren Ende wieder an's Tageslicht kommen, dass sie also „mit dem Gletscher fortgestossen" sein müssen [86]*). Doch dauerte es noch längere Zeit, bis eigentliche Messungen an Stelle oberflächlicher Schätzungen traten. Um 1840 begann Agassiz seine Messungen am Gletscher der Aare, und aus dieser Arbeit, bei welcher Johannes Wild den geodätisch-topographischen Theil auf sich nahm, gieng endlich die treffliche Darstellung des Unteraargletschers hervor. Forbes, v. Schlagintweit, Tyndall u. A. folgten nach, wie man aus der die älteren Versuche sämmtlich registrirenden Zusammenstellung Heim's ersehen kann [88], und neuerdings haben diese Vermessungsarbeiten eine so systematische Gestalt angenommen, dass man ganz wohl von einer glacialen Geodäsie zu sprechen sich berechtigt fühlen könnte.

Das einfache und zweckdienliche Verfahren, welches Agassiz in die Gletscherkunde einführte, bestand darin, längs der Queraxe eines Gletschers eine Reihe von Pfählen einzuschlagen und jeweils in bestimmten Pausen die Verschiebungen dieser Pfähle sowohl unter sich als auch gegen fixe Marken am Gletscherrande nachzumessen**). Fr. Pfaff verfeinerte die Messungen durch Anwendung seines Mikrogoniometers, einer Vorrichtung, welche sehr kleine und an sich nicht mehr messbare Longitudinalverschiebungen in Winkelveränderungen umzusetzen und auf diese Art messbar zu machen gestattet [90]. Von Klocke wird, im Hinweis auf Pfaff, eine analoge Methode zur Bestimmung des Gletschervorrückens während sehr kleiner Zeiträume empfohlen [91]***), und Pfaff selbst giebt Mittel an die Hand [92], um die Bewegungen der Skalen graphisch darzustellen, wodurch die Art der Bewegung bequemer ersichtlich wird. Auch zeigt derselbe, wie er bei seinen Beobachtungen an der Pasterze, wo übrigens gleichzeitig vier Horizontal- und Vertikalskalen abgelesen werden mussten,

*) Die Eigenschaft des Gletschers, an sich selbst einen Reinigungsprocess fremden Körpern gegenüber zu vollziehen, ist im Drucke zuerst von Seb. Münster hervorgehoben worden [87].

**) Unvermogend, sich bei der Untersuchung des mächtigen Bruder-Johannes-Gletschers am Foulke-Fjord länger aufzuhalten, griff Bessels [89] zu einem sinnvollen „Manoeuvre de force", welches von Polarforschern gewiss im Auge behalten werden wird (s. Band I, S. 285). Er ersetzte in der Kamera seines photographischen Apparates deren matte Scheibe durch eine gewöhnliche Glastafel, deren Rückseite mit geöltem Seidenpapier überklebt war, stellte dann senkrecht zur Bewegungsrichtung des Gletschers zwei Reihen dünner Holzlatten auf, deren schmale Seite sich dem Apparate zukehrte, und fixirte dann zu einer bestimmten Stunde h_1 die als Linien von verschiedener Dicke sich projicirenden Bilder der Latten auf dem Oelpapier mit einer Nadelspitze, und zwar unter zehnfacher Lupenvergrösserung. Nach Ablauf der Stunde h_2 ward die Messung wiederholt, die Abstände entsprechender Latten wurden durch Multiplikation mit dem Vergrösserungsfaktor in Linearmaass verwandelt, und so hatte man ein leidlich genaues Maass für die Thalbewegung des Gletschers während der Zeit $(h_2 - h_1)$ erhalten.

***) „Man befestigt an einem in das Eis eingesetzten Pfahle eine horizontale und eine vertikale Skala und beobachtet dieselben durch ein am Ufer absolut fest aufgestelltes, mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr. Bewegt sich das Eis mit den Skalen, so wandern deren Theilstriche durch das Fadenkreuz und kann die Grösse und Richtung der Bewegung somit direkt abgelesen werden."

des Nachts für deren Erleuchtung Sorge trug [93]. In neuerer Zeit lässt sich von äusserst umfassenden Unternehmungen glacialgeodätischer Natur berichten. Forel liess bei seiner Aufnahme des Rhônegletschers [94] die diskontinuirlichen Pfahlreihen durch stetig an einander gereihte faustgrosse Steine ersetzen, welche je nach ihrer Lage mit Farben kenntlich gemacht wurden; auch wurde, um Anhaltspunkte über die wechselnde Tiefe des Gletschers zu erlangen, auf jeder der Querlinien, welche in der Epoche 1874 mit Steinen belegt worden waren, ein Querprofil nivellirt [95]. Dasselbe Verdienst, welches sich Forel in den Westalpen erwarb, muss E. Richter bezüglich der östlichen Gletscher zuerkannt werden; seine Studie über den Obersulzbachgletscher [96] ist eine Arbeit von entschieden fundamentaler und paradigmatischer Bedeutung, und insbesondere eröffnen seine mit ausdauerndstem Fleisse ausgeführten Querschnittsberechnungen [97], wie wir bald sehen werden, der Theorie wichtige Perspektiven. Alle diese Messungsarbeiten, denen noch manche andere, z. B. diejenigen Seeland's an der Pasterze, Helland's an norwegischen Gletschern u. s. w. anzureihen wären, lieferten nun die von Heim zu einem wohlgeordneten Ganzen [98] verarbeiteten Thatsachen, über welche nunmehr zu berichten sein wird.

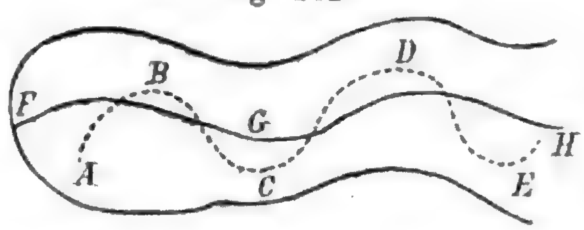
Für die schweizerischen, skandinavischen und die kleineren norwegischen Gletscher kann angenommen werden, dass die centralen Theile der Oberfläche im Jahre um eine Strecke von 40 bis 100 m sich fortbewegen. Sichergestellt — und schon durch die Konfiguration der Ogiven (s. o. §. 4) angedeutet — ist das Faktum, dass die progressive Bewegung des Gletschers vom Rande nach der Mitte hinwächst. Ueber die Modalitäten dieser Zunahme kann man sich eben mittelst der von Forel (s. o.) angeführten Zahlen besonders gut unterrichten, wie nachstehende Tabelle darthut. In ihr sind die quer vom West- nach dem Ostrande des Rhônegletschers sich erstreckenden Steine durch fortlaufende Nummern bezeichnet, und die Rubrik B ergiebt die zugehörige mittlere Jahresbewegung in Metern:

Nr.	B.	Nr.	B.	Nr.	B.	Nr.	B.	Nr.	B.	Nr.	B.
1 bis 4	?	15	79.1	23	95.8	31	97,1	39	89,0	47	67.5
5	12.9	16	82.4	24	96.7	32	97,0	40	87.4	48	60.7
8	43.3	17	85.3	25	98,2	33	95.9	41	85,5	49	50.7
10	50.9	18	88.2	26	98.0	34	95,1	42	83.4	50	39.2
11	58,0	19	90.2	27	98,0	35	94,2	43	81,3	51	25.8
12	65,1	20	92 1	28	**98,4**	36	93.4	44	79.3	52	18.0
13	70.4	21	94.3	29	98.1	37	92,1	45	75,9	53	10,0
14	75.1	22	95,8	30	98,0	38	90.3	46	71,3		

Lokale Unregelmässigkeiten, Spalten u. dgl. verhindern das Zutagetreten eines klaren Gesetzes; auch hängt das Verhältniss der Randgeschwindigkeit zur Mittelgeschwindigkeit von der Jahreszeit ab Uebrigens ist die Zunahme der Bewegung von aussen nach innen eine kontinuirliche [99]. Wenn das Gletscherbett regelmässig gebaut und regelmässig geböscht ist, so bewegt sich der Gletscher nahe der Firn

linie am schnellsten, während umgekehrt z. B. das Mer de Glace nach unten zu rascher fliesst. Im ersteren Falle drängt das sich nachschiebende Eis die tieferen Theile seitlich auseinander, es entstehen Lateralbewegungen, die sich vielleicht sogar nahe der Mitte zu einer rein vertikalen Bewegung zusammensetzen [100]. Dass die Bewegung von oben nach unten zu ziemlich rasch an Intensität verliert, ist durch Tyndall's Beobachtungen sicher nachgewiesen. Auch an der Oberfläche fällt, wie schon aus unserer obigen Tabelle erhellt, die Linie der Maximalbewegung nicht mit der Gletscheraxe zusammen; in Fig. 102 stellt ABCDE die erstere, FGH die letztere so dar, wie Tyndall [101] dieses Verhältniss darstellt. Heim ist es gelungen, ziemlich scharfe und allgemeingültige geometrische Beziehungen zwischen beiden Kurven nachzuweisen [102]; entsprechende Gesetze regeln ihm zufolge [103] auch das Verhältniss der Geschwindigkeit zur Form und Grösse des Gletscherquerschnittes. Diese Einengungen des Querschnittes sind oft, zumal beim Suldener Gletscher, ausnehmend beträchtlich, und es müssen damit nach bekannten hydraulischen Sätzen ebenso beträchtliche Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit korrespondiren. Eigentlich rückläufige Bewegungen lassen sich für kurze Zeiträume nur unmittelbar an den Rändern nachweisen, nach Pfaff's Ansicht sind sie auch sonst nicht unmöglich, kommen aber nur in streng lokaler und zeitlicher Begrenzung vor [104]. Aus den Diagrammen des genannten Forschers geht hervor, dass die Bewegung alles eher als eine gleichförmige ist, doch ist sie ebensowenig eine ruckweise, vielmehr erfolgt sie kontinuirlich [105].

Fig. 102.



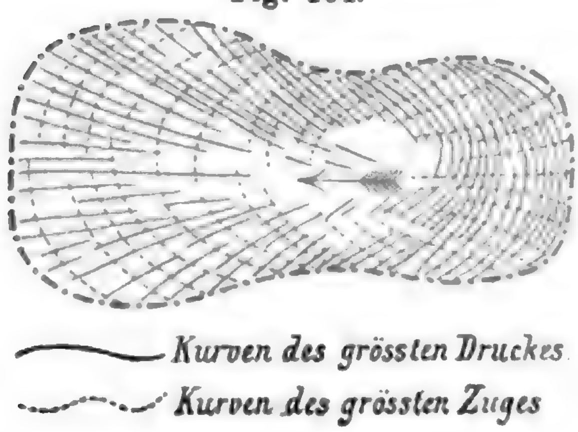
Dem allen zufolge ist die Analogie zwischen der Bewegung eines Gletschers und derjenigen einer schwerflüssigen Masse unverkennbar. Damit allein ist allerdings noch kein völlig bestimmtes Urtheil ausgesprochen, denn die schwerflüssigen Massen zerfallen [106] selbst wieder in zwei Klassen: in die zähflüssigen oder viskosen, bei welchen die innere Kohäsion die innere Reibung (S. 420 dieses Bandes) überwiegt, die auf Druck plastisch reagiren und „Fäden ziehen" (Syrup), und in die dickflüssigen, bei welchen das arithmetische Verhältniss von Kohäsion und Reibung das umgekehrte ist, die auf Druck sich ähnlich, wie die viskosen, äussern, die aber stärkeren Zug gar nicht vertragen können*). „Die Beobachtungen über die Spaltenbildung

*) Die Theorie der Bewegung solcher Körper bietet natürlich insoferne besondere Schwierigkeiten, als auf sie die Fundamentalgleichungen der Hydrodynamik (S. 392 dieses Bandes) nicht direkt anwendbar sind. Fur den Fall, dass nur zwei Dimensionen zu berücksichtigen sind, hat St. Venant [107], für den Fall, dass auch noch die dritte Dimension hinzukommt, hat Lévy [108] die fünf, resp. neun Relationen aufgestellt, welche als die Grundgleichungen der Plastikodynamik gelten müssen. Werthvolle Beiträge zur Begründung dieser neuen mechanischen Theildisciplin liefern auch Tresca's Untersuchungen der beim Stempeln der Metalle vor sich gehenden Molekularveränderungen [109] und noch mehr diejenigen desselben Autors über den Ausfluss der Metalle [110], von denen der offizielle Bericht sagt [111]: „Mr. Tresca vous présente aujourd'hui les épures des coupes faites dans les jets de matières ductiles". Es muss aus den überaus

der Gletscher beweisen uns, dass die Vergleichung der Gletscherbewegung mit einem zähflüssigen Körper unrichtig ist, dass der Gletscher vielmehr, als Ganzes genommen, als dickflüssige Masse angesehen werden muss. Er zieht nicht Fäden, er zerreisst auf Zug" [114].

Den Spalten im Gletscher haben wir also zunächst unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Auf jeden Punkt im Inneren der bewegten Masse wirken Zug- und Druckkräfte, und man kann sich für einen jeden durch Resultantenbildung die Richtung des stärksten Zuges und die Richtung des stärksten Druckes konstruirt denken. Die ganze Masse zerlegt sich so in zwei einander zugeordnete Kurvenschaaren: in das System von Kurven des Maximalzuges und in das System von Kurven des Maximaldruckes. Selbst für das menschliche Knochengerüste hat sich die Unterscheidung dieser beiden Kurvensysteme als nothwendig und durchführbar erwiesen. Fig. 104 stellt uns dieselben vor Augen. Solche Kräftevertheilung beherrscht nun auch den Gletscher, und zwar kann man das Vorhandensein derselben im Einzelfalle mit Hülfe der folgenden — an sich der Plastikodynamik als solcher angehörigen, von Heim aber [115] den speziellen Verhältnissen der Gletscherkunde angepassten — Sätze ermitteln: Die klaffenden Spalten stehen überall senkrecht auf den Richtungen grösster Streckung, den Zugkurven; Wülste und Blaublätterstruktur stehen senkrecht auf den Richtungen grösster Pressung, den Druckkurven.

Fig. 104.

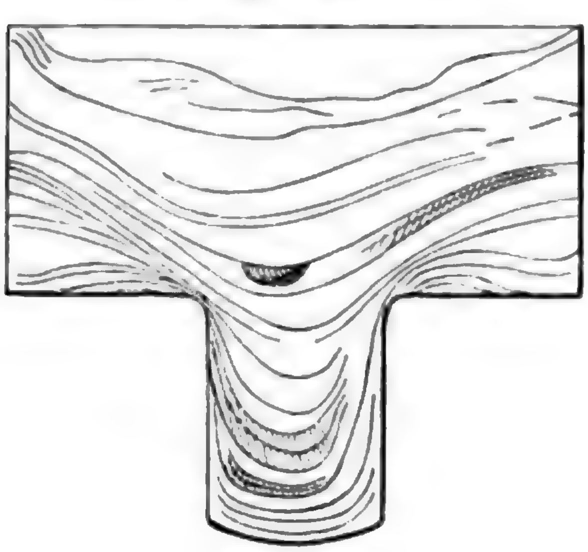


Durchmustern wir nun, ausgerüstet mit diesen hodegetischen Wahrheiten, in Kürze die morphologischen Verhältnisse des Gletscher-

---

merkwürdigen Modellen, die Tresca hergestellt hat, geschlossen werden, dass bei sehr hohen Druckgraden auch feste Körper in einen halb beweglichen, dickflüssigen oder, wie man in geologischen Kreisen die Sache ausdrückt, latent plastischen Zustand gerathen, in welchem der Druck sich nicht mehr einseitig, sondern allseitig fortpflanzt. Unsere Fig. 103, gerade auch für die Gletschertheorie wichtig, versinnlicht uns nach Tresca [112] die inneren Verschiebungen erhitzter Eisenplatten, welche durch den Schlag des Fabrikhammers gezwungen wurden, sich theilweise durch eine kreisförmige Oeffnung hindurchzuzwängen. — Dieses Hindurchwinden einer schwerflüssigen Masse durch Löcher vergleicht Tyndall [113] mit dem Durchwinden des Gletschers durch eine Thalenge; nur darin findet er einen Unterschied beider Erscheinungen, dass das Gletschereis seinen Zusammenhang einbüsse.

Fig. 103.



eises! Die weitesten Klüfte finden sich oben in dem minder spröden Firneise vor, welches oft durch solche Schlünde in ein Chaos wild durcheinander liegender Eisbrocken — die Sérac's*) — zerrissen ist. Diese Firnklüfte sind die gefährlichsten Feinde des Hochtouristen. Regelmässiger tritt die Zerklüftung in dem kompakt dahinfliessenden Eisstrome auf; das bald singende, bald knallartige Geräusch, mit welchem sich immer neue Spalten bilden, wird nach Tyndall oft stundenlang gehört**). Man hat dreierlei Gattungen von Spalten zu unterscheiden.

a) **Randspalten** („crévasses marginales"). Dieselben fehlen niemals ganz, weil sie aus der Natur der fliessenden Bewegung mit Naturnothwendigkeit sich ergeben [118]. Im Grossen und Ganzen schliessen die weiterhin nach Art der Ogiven sich krümmenden Randspalten mit der Uferrichtung Winkel von nahe 45° ein.

b) **Querspalten** („crévasses médianes"). Das Auftreten dieser Spalten ist bestimmt durch plötzliche Aenderungen in der Neigung des Gletscherbettes gegen den Horizont. Sie finden sich also nur bei gewissen Gletschern und auch bei diesen nicht allerorts [119].

c) **Längsspalten** („crévasses longitudinales") treten stets und nur da auf, wo ein Gletscher aus einer Thalverengerung in eine Thalerweiterung tritt [120].

Jene Struktur-Klassifikation, deren wir oben als von Tyndall ausgehend gedachten, bezieht sich strenge genommen nur auf die Blaublätterstruktur, welche allerdings, je nach ihrer Lage im Eisstrome, ein dreifaches Aussehen zeigt, von eigenartigen Lokalstrukturen ganz abgesehen. Ob man es hier mit einer Druckschieferung — Tyndall — oder mit einer Schlierenstruktur — Forbes — zu thun hat, das stehe dahin [121].

Zum Schlusse betont Heim, dass Tyndall's Einwand hinsichtlich des Kontinuitäts-Verlustes nach der nunmehr gewonnenen tieferen Einsicht in die plastikodynamischen Verhältnisse seine Bedeutung verloren hat. Die Schlussfolgerungen unseres trefflichen Führers sind es werth, hier in extenso wiedergegeben zu werden: „I. Auf Druck verhält sich der Gletscher stets plastisch. Je grösser lokal der Druck der eigenen Schwere ist und je ungehemmter er wirkt, desto schneller wird, wie bei einer Flüssigkeit, die Bewegung. Gesteigerter Druck erzeugt Quetschung, seitliches Ausweichen und dadurch Blaublätterstruktur, die im Allgemeinen senkrecht auf seiner Richtung steht. II. Auf Zug verhält sich der Gletscher stets spröde, er zerreisst. Senkrecht auf der Richtung des grössten Zuges entstehen die Spalten um so zahlreicher, je grösser, je stärker der Zug ist."

*) Das Wort bedeutet im savoyischen Patois nach Martins „Gletscherkäse", nach Analogie eines im Chamounithale producirten Handelsartikels [116].

**) Namentlich der unerfahrene Gletscherwanderer muss, wie Tyndall betont, unter den auf sein Gehör eindringenden Tönen sorgfältig unterscheiden, um das Geräusch der Spaltenbildung richtig herauszufinden, weil ausser dem Lärm ferner Lawinenstürze nicht selten auch die von einem unterirdischen Eissee beim Durchbrechen seiner Dämme verursachten Schallerscheinungen sich geltend machen [117]. Den richtigen Ton erkennt sofort wieder, wer je den unheimlichen Gang über einen oberflächlich zugefrorenen See gemacht hat.

§. 6. **Theoretische Ansichten über Gletscherbewegung.** Seit Scheuchzer, kann man sagen, ist die theoretische Spekulation über Wesen und Ursache der Gletscherbewegung eine dauernde geblieben, und zahlreiche Hypothesen haben einander abgelöst. A. Heim führt [122] nicht weniger als 47 Forscher auf, die bis zum Jahre 1882 auf diesem Gebiete thätig gewesen sind, und aus der Spanne Zeit, die seitdem verstrichen, lassen sich schon wieder neue, würdige Namen — Stapff, Oldham u. A. — den in jener Liste aufgeführten anreihen. Ausser Heim hat auch Grünwald eine hübsche genetische Entwicklungsskizze der Gletschertheorieen gegeben [123]. Ehe wir aber in deren Darstellung selbst eintreten, senden wir, wie der schweizerische Gletscherforscher es thut [124], gewisse Prolegomena voraus.

a) **Verflüssigung des Eises durch Druck.** Bei starkem Druck sinkt, wie zuerst von den Gebrüdern W. und J. Thomson bemerkt ward, der Schmelzpunkt des Eises unter 0°, und es wird mithin ein Theil des letzteren in Wasser verwandelt. Dasselbe gefriert zum grössten Theile wieder, sobald der Druck nachgelassen hat.

b) **Regelation.** Faraday ist der Entdecker*) dieser mit der soeben erwähnten verwandten Naturerscheinung. Zwei angefeuchtete Eisstücke frieren, wenn das eine an das andere gepresst wird, zu einem einzigen Stücke an einander; sie thun diess jedoch auch ohne Druck, wenn man die beiden Stücke genügend lange in Berührung lässt. Eine völlig einwurfsfreie Erklärung der Regelation ist — hierauf haben sich Tyndall und Helmholtz geeinigt [126] — bis vor Kurzem noch nicht erbracht gewesen. Indem Heim [127] die Analogie des Regelationsprocesses mit dem Schweissen der Metalle hervorhob, trug er, wie sich später zeigen wird, ein neues Ferment in diese Lehre hinein.

c) **Die Härte des Eises.** Bei grosser Kälte hart und spröde, wie Glas, beginnt Eis, schon ehe es bis zum Grade der Schmelzung erwärmt ist, plastisch zu werden (vgl. S. 427 dieses Bandes), ohne seine Krystalleigenschaft zu verlieren [128].

d) **Die Festigkeit des Eises.** Hierüber handelt bereits §. 2 des sechsten Kapitels der sechsten Abtheilung.

e) **Die Temperatur im Inneren des Gletschers.** Gletschereis besitzt in hohem Grade die Eigenschaft der Diathermansie. J. Müller giebt hiefür [129] die Belege, indem er sich auf Experimente von Dollfus-Ausset und von Forel stützt. Es trifft sich wohl, dass tief im Inneren des Gletschers Steine stecken, um welche herum eine kleine Höhle ausgeschmolzen ist. Die Wärmestrahlen sind in solchen Fällen eben anstandslos durch die Eismasse hindurchgegangen und haben den Stein mit fast ungeschwächter Kraft erwärmt, erst durch die Leitung ist dann allmählig die höhere Temperatur auch dem umgebenden Eise übermittelt worden. Aus Messungen von Hugi, der allerdings nicht immer vorurtheilsfrei operirte**), sowie aus den von

---

*) Die Originalmittheilungen Faraday's und die daran sich knüpfenden Bemerkungen von Tyndall und James Thomson findet man in Band 9 und 10 der „Proceedings of the Royal Society". Deutschen Lesern ist das Studium der trefflichen Uebersicht anzurathen, welche Helmholtz von jenen Diskussionen gab [125].

**) So wollte er z. B. [130] die Helligkeit des Firn's nicht durch blosse Insolation, sondern durch eine um die Firnmasse herum nach besonderen — unbekannten — Gesetzen sich verdichtende Atmosphäre erklären.

loseley und Forel angestellten Betrachtungen ist zu schliessen, dass war das Massiv des Gletschers sich thermisch in vier gesonderte heile zerlegt, dass jedoch für den räumlich weit überwiegendsten estandtheil eine konstante Temperirung von 0° besteht [131].

Die Gletschertheorieen selbst können nach zwei einander scharf genüberstehenden Klassen gruppirt werden [132]; in die erste Klasse gehören alle Theorieen der selbstständigen Triebkräfte, in die zweite die reinen Gravitationstheorieen. Bei der nun folgenden Einzelbesprechung sind die unter a, b und c erörterten Lehrmeinungen principiell der ersten, alle übrigen der zweiten Kategorie zuzuweisen.

a) **Dilatationstheorieen.** Der Begründer derselben ist zugleich auch der Vater der ganzen Lehre von den Gletschern, J. J. Scheuchzer*). Bei'm Gefrieren treibt das in die Ritzen und Spalten eingedrungene Wasser, welches nunmehr sich ausdehnt, die Masse vorwärts. Biselx und die beiden Charpentier pflichteten Scheuchzer bei, indem sie dessen etwas grobsinnliche Anschauung auch auf die zarten und, wie wir sahen, bis zu einem gewissen Grade infiltrirbaren Haarspalten übertrugen. Unter den von Heim [134] angeführten Gegengründen erscheint uns als der zwingendste der, welcher betont, dass jenes Wachsthum doch nicht einzig und allein in der Longitudinalrichtung sich sicht- und fühlbar machen könnte**).

b) **Gletscherkorn-Wachsthums-Theorieen.** Die einzelnen Gletscherkörner wachsen nach dieser zuerst von Hugi vertretenen Ansicht durch Ankrystalliren neuen Eises. Ladame, Nicolet, Bertin, Grad, ganz besonders aber Forel [135], haben diese Theorie weiter gebildet, und zumal der Letztgenannte verfeinerte sie sehr. Er unterscheidet im Gletscher drei Partieen, die Finregion, welche den Gletscher in seiner Kindheit darstellt und von der Firnlinie — zugleich nach Stapff mit der Isogeotherme von 0° zusammenfallend [136] — begrenzt wird, den in seiner Vollkraft befindlichen Gletscher („glacier adolescent"), der da aufhört, wo unter dem Gletscher der Bach sich zu bilden beginnt, und den alternden Gletscher („glacier sénile"). In der ersteren Partie waltet ein Uebermass von Schnee vor, alles Wasser wird zur Eisbildung verwendet, im zweiten Theile macht sich bereits die Sommerwärme mehr geltend, alles Infiltrationswasser wird vom Gletscher absorbirt, im dritten Theile endlich liefert die Sommerwärme mehr Infiltrationswasser, als der Gletscher selbst zu beherbergen vermag. Der Durchkältungsgrad der Eismasse im Winter und der Durchtränkungsgrad im Sommer bedingt nach Forel die Grösse des Kornwachsthums, und so erscheint dieses letztere als Funktion eines neuen Werthes, des Gletscheralters. Heim erkennt voll und ganz die

---

*) Folgendes sind (nach Heim) Scheuchzer's Worte [133]: „Es muss das vom Rücken der vereisten Berge und Felsen abfliessende Wasser, wenn es in den Sprüngen und Lücken des Eises sich sammelt und gefriert, weil es in diesem Zustande einen grösseren Raum einnimmt, nach allen Seiten drängen und denjenigen Gletschertheil, der nach der freien Luft und nach abschüssigen Wänden blickt, vorwärts stossen . . ."

**) Gerade dieses Argument, obwohl Scheuchzer's eigene Darstellung zur Aufstellung und Verwerthung desselben geradezu herausfordert, wird von Grünwald [134] unterdrückt, und seine übrigen Argumente ersetzen das Fehlen dieses Einen keineswegs.

vielen richtigen Gedanken in diesem sehr durchdachten Systeme an, erklärt sich aber trotzdem gegen dasselbe [137], hauptsächlich auf Grund einer höchst originellen Berechnung des schliesslichen Kornvolumens, die leider für eine Mittheilung an diesem Orte zu umfangreich ist.

c) **Die Theorie der Temperaturwechsel.** In einer Reihe von Abhandlungen, welche in den verschiedenen Jahrgängen des „Philosophical Magazine" von 1855 bis 1870 zerstreut sind, hat Moseley den Gedanken ausgeführt, dass die das Gletschereis bewegende Kraft in den abwechselnden Zusammenziehungen und Dilatationen zu suchen sei, welche die wechselnde Temperatur bedinge; weiter oben sollen die ersteren, weiter unten die letzteren eine kräftigere Wirkung äussern. Heim bemerkt dazu [138], dass dann nicht abzusehen sei, wie in den einzelnen Theilen der nämlichen Vertikalschicht die Bewegung eine so völlig verschiedene sein sollte, und Matthews hält seinem Landsmanne mit Recht den von uns schon erwähnten Umstand entgegen, dass Veränderungen der Luftwärme nur so wenig tief in die Gletschermasse eindringen [139].

d) **Theorie der vorübergehenden Verflüssigung des Eises.** Entweder blos durch Sonnenwärme — Croll — oder mehr durch hohen Druck — J. Thomson — soll sich das Eis theilweise verflüssigen. Das Wasser wird aber im nächsten Augenblicke wieder gefrieren, und da hierdurch der Druck an den vorher vom Wasser eingenommenen Plätzen vermindert ist, so rückt das aufwärts gelegene Eis gleitend nach. Sowenig Geschmack Heim der Croll'schen Auffassung abgewinnen kann, der zufolge in der That bei bedecktem Himmel die Gletscherbewegung eine Geschwindigkeits-Abnahme erkennen lassen müsste, ebenso bereitwillig gesteht er derjenigen Thomson's zu, dass sie Einen Faktor des ganzen Erscheinungskomplexes zutreffend gedeutet habe [140].

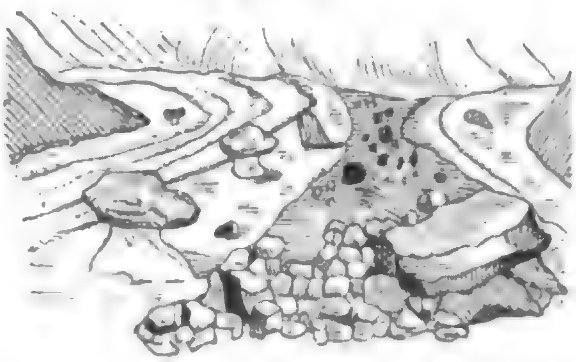
e) **Die Lehre von der plastischen Umformung des Gletschereises.** Nachdem Bordier schon 1750 dem Eise Plasticität zugeschrieben hatte [141], begann diese Hypothese bei Rendu [142], v. Schlagintweit [143] und Forbes [144] eine exakte Gestalt anzunehmen. Der Letztere begründete durch zahlreiche Experimente und Modelldarstellungen die von ihm behauptete Analogie der Gletscher- und Lavabewegung. Pech, Wachs, Kolophonium, Körper von muscheligem Bruche, die aber durch ihr Eigengewicht auf schiefer Unterlage langsam fortrücken, wurden zum Vergleiche herangezogen*). Doch war sich Forbes des oben schon in's Licht gesetzten Gegensatzes von zäh- und dickflüssigen Massen durchaus nicht klar bewusst; auf die Unbestimmtheit der von ihm gebrauchten Begriffe haben auch Thomson und Tait aufmerksam gemacht [146]. Jedenfalls aber war durch diese Untersuchungen den von Moseley [147] und Croll [148] aufgestellten Behauptungen, dass die Gravitation und die inhärenten Eigenschaften des Gletschereises für sich noch keine Erklärung des Fortrückens der Gletscher liefen könnten, wirksam begegnet. Dass unter hohem Drucke selbst die festesten Körper in einen dem flüssigen sich annähernden Aggregatzustand übergehen und einen beliebig hohen Grad von Plasticität gewinnen, muss nach den rasch berühmt gewordenen For-

*) Solche Experimente mit Schusterpech beschreibt Bottomley [145].

schungen von Spring [149] als unbestreitbare Thatsache gelten*), wie dieselben denn auch in der Theorie der Regelation recht eigentlich ihren Ausgangspunkt haben. Experimente von Matthews, F. Pfaff, Bianconi u. A. verbreiteten Licht über das plastische Verhalten des Eises gegen Druck und Zug, Tyndall und Helmholtz deckten auch die von der Regelation gespielte Rolle auf (s. o.) und man überzeugte sich von der Richtigkeit des Fundamentalsatzes [150]: Massen mit körniger Breccienstruktur**) besitzen eine weit höhere Umformungsfähigkeit, als solche ohne Kornstruktur, und die Regelation, weit entfernt, die Gletscherkörner als solche zu beseitigen, erhöht deren Fähigkeit, Umformungen erleiden zu können. „Nach den obigen Betrachtungen ergiebt sich die Schwere des Eises als die treibende Kraft, das Gletscherkorn als die vorherrschende mechanische Einheit der Bewegung, es verhält sich zum Gletscher, wie ein Molekül Wasser zum Strome.“ Und mit diesen Ergebnissen der vergleichenden Untersuchung dürfen wohl auch wir uns vollkommen zufrieden geben, indem wir allerdings auch noch des Umstandes gedenken müssen, dass der Gletscher auf seiner Unterfläche wirklich gleitet [152]. Es ist diess indess nur eine sekundäre, die Progressivbewegung der Gesammtmasse nicht erklärende Erscheinung.

§. 7. **Auflösung der Gletscher.** Durch Abschmelzung von oben, durch Abschmelzung von unten und durch innere Schmelzung wird dem Gletscher unaufhörlich ein recht beträchtlicher Substanzverlust zugefügt, dessen sprechendes Zeugniss der dem Eise entströmende Gletscherbach ist [153]. Die oberflächliche Ablation ist von vielen lokalen Bedingungen, hauptsächlich aber von der mehr oder minder intensiven Besonnung abhängig und hat demgemäss auch eine Tages- und Jahresperiode. Felsschutt und einzelne Felsblöcke schützen die unter ihnen befindlichen Gletscherpartieen gegen die Ablation; solche Blöcke bleiben oft — genau so, wie es bei den Erdpyramiden (S. 525 dieses Bandes) der Fall ist — auf einem schmal gewordenen Eisfusse liegen und heissen dann Gletschertische (Fig. 105). Kleinere Fremdkörper schmelzen dagegen in's Eis hinein [154], feiner Schutt befördert also die Abschmelzung. Das

Fig. 105.



*) Blei, Wismuth, Antimon, Zinn, Kupfer und andere Metalle wurden von Spring in Form gewöhnlicher Stücke einem Drucke von 10 000 Atmosphären ausgesetzt und so zu homogenen, plastischen Blöcken von metallisch glänzender Oberfläche komprimirt. Stoffe, welche heteromorph auftreten, konnten durch entsprechenden Druck aus der einen ihrer Erscheinungsformen in die andere übergeführt werden, so dass mithin der Druck nunmehr neben der Temperatur und der Molekularverwandtschaft in die Stellung eines einflussreichen chemischen Faktors eingesetzt erscheint. Manche Elemente und Gebilde, Kieselsäure z. B., verhalten sich den bisher angewandten Druckgraden gegenüber noch neutral.

**) Trümmergestein führt in der geognostischen Terminologie dann den Namen Breccie, wenn es aus grösseren, scharfkantigen, möglichst enge unter sich verbundenen Bruchstücken besteht [151].

Ablationswasser bildet auf dem Gletscher kleine Bäche, die theils an sich versickern, theils in Spalten sich ergiessen und Gletschermühlen („moulins“) bilden, oft bis zu 200 m tiefe Schächte. Die Verdunstung des Gletschereises ist geringfügig gegenüber der ihm durch Thauungsprocesse zugeführten Wassermengen. Was die Schmelzung von unten anlangt, so participiren an dieser zunächst die Wasserläufe der Thalhänge, aber auch die in den Eishöhlen sich ausgleichenden und durch die Gletschermühlenwasser — nach Art der Trommelgebläse — bedingten Luftströmungen wirken mit. Die Bäche unter dem Gletscher vereinigen sich zu einem Hauptabfluss, der sich weiter unten das gewölbeartige Gletscherthor bricht [155]*). Auch warme Quellen thun dem Besitzstande des Gletschers Eintrag, und durch Heim's Untersuchungen ist auch festgestellt, dass der an der inneren Erdwärme Theil nehmende Untergrund Wärme an die unteren Gletscherschichten abgiebt. Bezüglich der internen Schmelzung ist theils an infiltrirende kleine Mengen von Schmelzwasser und Luft, theils an die Verflüssigung durch Druck (s. o.) zu denken [156]. Die zerstreuten Notizen über die von den Abflüssen der Gletscher gelieferten Wassermengen hat unser Gewährsmann gesammelt [157]; ihm zufolge schwankt das Erträgniss eines Gletscherbaches nach der Tages- und Jahreszeit, nach der Witterung und nach unregelmässigen Lokalperioden.

§. 8. **Gletschertrümmer und Moränen.** Erosion und Verwitterung bringen es mit sich, dass auf den Gletscher Gesteinsschutt aller Art herabfällt**) und von dem sich fortbewegenden thalabwärts transportirt wird. Da, wo der Gletscher nicht von Hochspitzen überragt wird, fehlt diese Zugabe natürlich, so in Grönland und, nach Penck's ausdrücklicher Konstatirung [164], auch in Norwegen. Man nennt solche Schuttansammlungen Moränen, und da dieser Name von der Geologie später auch in übertragener Bedeutung gebraucht ward, so charakterisirt man die erwähnten Konglomerate speziell als Obermoränen. Halten sich dieselben, wie nach ihrer Entstehung zu erwarten ist, an den Randpartieen, so heissen sie Rand- oder Seiten-

*) Ein sehr schönes Portal hatte vor Jahren die bekannte „Eiskapelle“ am Königssee, allein dasselbe ist seitdem, wie bei anderen Gletschern, durch Einsturz zerstört worden.

**) Es mögen hier, wo von den dem Gletscher selbst nicht eigentlich angehörigen Gegenständen die Rede ist, auch einige Worte über die organische Belebung der Gletscher am Platze sein. Im Werke Heim's wird denselben ein kurzes Kapitel eingeräumt [158], aber Wittrock hat neuerdings in Nordenskiöld's „Studien“ die glaciale Fauna und Flora noch weit eingehender monographisch behandelt [159] und das Bemerkenswertheste über letztere stellt auch W. Kaiser zusammen [160]. Seit Saussure [161] stehen glacialbotanische Untersuchungen auf der Tagesordnung, aber ein besonderes Interesse gewannen dieselben in weiteren Kreisen erst durch John Ross' Entdeckung der berühmten polaren Karmesinklippen, rothgefärbter, in's Meer abstürzender Gletscherwände, deren landschaftlichen Charakter man aus Wittrock's Zeichnung [162] kennen lernen kann. Man hat es hier nicht, wie C. Vogt annahm, mit winzigen Thieren, sondern nach Agardh und Wittrock mit mikroskopischen Algen („Sphaerella nivalis“) zu thun. Alle Pflanzenformen der Schnee- und Eisflora sind mikroskopisch klein, aber durch schöne Farben ausgezeichnet [163]. — Von autochthonen Thieren der Eisregion sind Räderthierchen, Poduriden und eine vom Raube lebende Spinne zu nennen; der schweizerische Gletscherfloh („Isotoma saltans“) scheint in Grönland nicht vorzukommen, wohl aber fand Kjellman dort die blaue Abart „Podurida nivalis“.

.oränen („moraines latérales“), während die an dem Ufer des Gletschers ch aufbauenden Wälle von Trümmergestein Ufermoränen eissen [165]. Die Mittelmoränen oder Gufferlinien („moraines édianes“) bilden Wälle oder dünnere Linien von Verwitterungs- odukten ziemlich genau in der Längsaxe des Gletschers und ent- ehen durch Vereinigung der auf zwei zusammenfliessenden Gletscher- römen bereits aufgebauten Seitenmoränen.

Auch unter dem Gletscher liegt natürlich Felsschutt vor, der e — uneigentlich so genannte — Grundmoräne („moraine profonde“) ldet; doch ist dieselbe keine so feste und regelmässige Begleiterin s Gletschers, wie die wahren Moränen. Wir werden uns mit dieser rm in §. 10 ganz besonders zu beschäftigen haben.

Da, wo der Gletscher sein Ende erreicht, vermischen sich die standtheile der Obermoränen mit denjenigen der Grundmoräne, und Resultat dieser Vereinigung kommt am Gletscherfusse der Stirn- .ll oder die Endmoräne („moraine frontale“) zu Stande [166]. Die släufer des grönländischen Binneneises beziehen ihr Material, weil ermoränen sich dort nur spärlich um die Nunatak's (§. 4) herum len können, fast allein von der Grundmoräne, der auch die Kontri- .ionen der Nunataker durch Einsinken in die zahlreichen und tiefen ılten einverleibt zu werden pflegen.

§. 9. Vorstoss und Rückgang der Gletscher in geschichtlicher t. Es ist eine jedem Besucher der Alpen bekannte Thatsache, dass rioden des Wachsens und Schwindens bei den Gletschern vechseln; wir erinnern uns, dass (S. 293) man mit solchen Schwan- ıgen auch erhebliche Veränderungen des Klima's verbunden glaubte. ohlbekannt sind die Oscillationen des Vernagtgletschers im Oetzthale d des Gletschers von Grindelwald, von welchem seit 1540 neun aus- prochene Vorstoss- und Rückgangsphasen bekannt sind [167]. Die ıwankung ist nicht etwa nur eine solche der Längenausdehnung, sondern erstreckt sich über das ganze Volumen [168], auch ist die Ge- vindigkeit der Gletscherbewegung viel stärker während der positiven, während der negativen Periode [169]. Die von Diener [170] usserte Vermuthung, dass das Zurückweichen der grossen Gletscher Schwarzensteingrundes innerhalb der letzten Jahrzehnte kein stetiges esen, sondern durch kurze Perioden eines partiellen Vorstosses erbrochen gewesen sei, wäre, wenn begründet, sehr geeignet, die sich schon schwierige Frage noch mehr zu kompliciren, doch stützen nach Biermann [171] jene Beobachtungen auf unrichtige karto- hische Daten. Dehnen wir, soweit uns diess die sparsamen Notate Chronisten gestatten, unsere Nachforschungen auch über entlegenere räume aus, so erkennen wir [172], „dass im Mittelalter die Gletscher Alpen durchweg eine bedeutend geringere Ausdehnung gehabt n, als selbst jetzt nach einer so auffallend grossen Periode des vindens.“ Auch andere vergletscherte Gebirge sind dem an den n erkannten Gesetze der Schwank[illegible] unterworfen, und zwar tritt freilich nur in grossen Zügen [illegible]nbarer Parallelismus in dem aalten der Gletscher verschiedener Erdgegenden unverkennbar or [173], die nach so vielen Richtungen eine separate Stellung ehmenden Polargletscher allerdings ausgenommen.

Die Gründe, von welchen die Variation des Gletschervolumens abhängt, sind jedenfalls sehr vielgestaltig und schwer erkennbar. Auf Grund eines mit staunenswerthem Fleisse zusammengebrachten Thatsachenmateriales studirte Fritz [174] die Beziehungen dieser Periodicität zu derjenigen der Sonnenfleckenfrequenz und fand, dass allerdings fleckenreiche Jahre auch gewöhnlich Jahre des Gletschervorrückens sind, womit diese letztere Erscheinung — nach den in Kap. V. der fünften Abtheilung gegebenen Aufschlüssen — als eine Funktion des meteorologischen Jahrescharakters erkannt wäre. E. Richter, der selbst, wie wir wissen, die Gletscherbewegungen sorgfältig kontrolirt und der auch mit Forel's Ergebnissen sich an Ort und Stelle genau bekannt gemacht hat, glaubt es aussprechen zu dürfen [175], „dass nicht etwa das Eintreten wärmerer oder kälterer Decennien, sondern das Eintreten regenärmerer und regenreicherer Jahresreihen die Veranlassung für Vorstösse und Rückgänge der Gletscher bildet". Derselbe Gelehrte hatte aber schon früher eine, wie uns scheinen will, höchst fortbildungsfähige Idee angedeutet [176], durch welche der unleugbare Umstand, dass der Gletscher zu Vorstössen weit weniger Zeit gebraucht als zum Rückgang, erklärt werden kann. Ungewöhnlich starke Ansammlungen von Firn, die von einer Reihe besonders schneefreier Winter herrühren, bewirken einen plötzlichen kaskadenartigen Ablauf, durch welchen die Vorwärtsschiebung der Gletschermassen beschleunigt wird*).

Von der Gletscherschwankung in geschichtlicher Zeit vollzieht sich ungezwungen der Uebergang zur Betrachtung der Gletscherschwankungen in dem uns aus Kap. IX. der fünften Abtheilung bekannten Zeitalter der Eisperiode. Da wir aber die Existenz dieser Periode nur durch die aus ihr nachgebliebenen Wirkungen und Ueberreste erkennen können, so haben wir uns, ehe wir zur Glacialgeologie selbst vorschreiten können, noch mit einer ebenso wichtigen als schwierigen Frage abzufinden.

§. 10. **Vermögen Gletscher erodirend zu wirken?** Gründe, auf deren Würdigung im Einzelnen allerdings erst im nächsten Paragraphen wird eingegangen werden können, haben diese Frage zu einer brennenden gemacht. Es waren hauptsächlich britische Forscher, welche den Satz verfochten, dass die Gletscher erodirend, ausschleifend, abhobelnd auf ihre Unterlage einzuwirken pflegten; Tyndall glaubte in dieser ihrer Fähigkeit einen der wichtigsten Faktoren der Thalbildung anerkennen zu müssen [180], und Ramsay sprach eine Reihe von schweizerischen Seebecken direkt als das Produkt der Gletschererosion an [181]. Es entspann sich ein äusserst lebhafter Streit über die Richtigkeit dieser Erklärung, von dessen einzelnen Phasen Penck

---

*) Im Privatgespräche mit Prof. Eduard Richter sah sich Verfasser veranlasst, die grosse Analogie jener Kaskadenbewegung mit der diskontinuirlichen Bewegung des Wassers im sogenannten hydraulischen Widder hervorzuheben, und es war ihm deshalb sehr erfreulich, seine Vermuthung neuerdings durch Zöppritz [177] bestätigt zu sehen. Eine gründliche Untersuchung der Oetzthalgletscher durch v. Frey [178] ist gleichfalls diesen Annahmen günstig gewesen; es wird dort betont [179], „dass die Reibung eine gleichförmige Bewegung in einen rhythmischen Wechsel von Beschleunigung und Verzögerung auflöst".

mit gewissenhafter Treue Bericht erstattet [182] Lyon, Murchison, Ratzel, Helland u. A. sind Anhänger der Erosion, Ball, A. Favre, v. Moisisovics, Grad u. A. bekämpften dieselbe vom geologischen Standpunkte aus. Penck selbst ist in jener früheren Publikation (a. a. O.) und noch bestimmter in einem vor dem vierten deutschen Geographentage gehaltenen Vortrage [183] zu Gunsten jener Hypothese eingetreten. Allein es will uns doch scheinen, dass die physikalischen Vorbedingungen der ganzen Erscheinung bislang noch zu wenig geklärt seien, um schon weiter tragende geologische Schlüsse zu rechtfertigen.

Dass Eis als solches, wenn mit entsprechender Geschwindigkeit fortbewegt*), auch von festen Körpern Theile loszusprengen vermag, unterliegt nach den verschiedenen Proben, welche wir in der siebenten Abtheilung anlässlich der Küsten- und Inselbildung konstatiren konnten, gewisslich keinem Zweifel. Ganz ein anderes Ding ist es, wenn einer weichen, plastischen Masse, wie dem Gletschereise, die sich am Boden nur mit geringer Geschwindigkeit gleitend fortbewegt, ein erheblicher mechanischer Eingriff in ihre Unterlage angesonnen wird. Die physikalischen Fundamentalfragen, von deren vorheriger Lösung ein abschliessendes Urtheil über die Möglichkeit und Unmöglichkeit einer erodirenden Gletscherwirkung abhängt, sind von Zöppritz einstweilen formulirt worden [185]**), doch wird deren endgültige Lösung zunächst noch nicht zu erwarten sein, und es ist gut, dass auch von anderer Seite schon schätzenswerthe Beiträge zur Klarstellung der Angelegenheit geliefert worden sind. In erster Linie ist hier Oldham's Untersuchung über die Kohäsion des Eises [186] zu nennen***), deren Voraussetzungen allerdings nicht völlig dem entsprechen, was die Glacialgeologie forden muss, allein, wenn Penck mit Recht sagt, „Oldham's Rechnungen gelten nur für starres, gleitendes Eis, nicht für Gletscher“ [187], so möchten wir ihm erwiedern, dass eine solche harte Masse kleine Felsbuckel noch immer weit eher wird zerreiben

*) Sehr interessante Versuchsreihen von Perkins, Pleischl, Darier, Colladon und Allou, welche wir zu unserer Verwunderung in der Polemik über Gletschererosion noch niemals citirt gefunden haben, lassen keinen Zweifel darüber, dass weichere Körper härtere zerstören können, wenn sie sich geschwind genug bewegen. Scheiben aus weichem Eisen, die man sehr rasch rotiren liess, machten Einschnitte in darangehaltene Feilen und Grabstichel von hartem Stahle [184].

**) Die beiden Fragen sind diese: „I. Eine Eisschicht von gegebener Höhe liegt auf einer horizontalen ebenen Unterlage, deren Masse einen gegebenen Kohäsionsmodul besitzt. Ein Körper von gegebener Form ist theilweise in das Eis, theilweise in die Unterlage eingesenkt. Es ist die Gleichgewichtslage und die Bahn dieses Körpers zu bestimmen, wenn die Geschwindigkeit der Eismasse in erster Annäherung eine konstante, sehr kleine Grosse ist. II. Zwischen der Eismasse und dem Untergrund liegt eine Trümmerschicht von gegebener Höhe: Wie tief wird sich die von dem Eise auf die Oberfläche dieser Schicht übertragene Bewegung in deren Inneres fortpflanzen?“

***) Die hieraus abstrahirten Ergebnisse fasst Oldham dahin zusammen (a.a.O.): „I. That no lake-bassin exceeding 700 feet in depth or 5 miles in length could possibly owe its origin to glacial erosion, tough the true limits are probably not one tenth of these quantities; II. that no glacier could be pushed, en masse over a plain for more than 5 miles; III. that, consequently, no ice-cap could travel, en masse over large areas independently of the ground over which is travelled.“ Eine Anwendung seiner Formeln macht Oldham auf den Genfer See, für den er die Data absichtlich sich von dem der Erosionshypothese so geneigten Ramsay geben lässt.

können, als ein Gletscher, der Hindernissen durch plastisches Ausweichen entgehen kann. Gerade der Mangel in Oldham's Berechnungen ist für die Lehre von der Gletschererosion gefährlich.

Es ist nun nicht zu leugnen, dass gerade Penck, gewohnt, eine Sache unter verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten, nicht sowohl das Gletschereis selbst, sondern die von diesem an seiner Unterfläche mitgeführten festen Körper die Erosion besorgen lässt. „Das Eis an und für sich," bemerkt er [188], „erodirt eben nicht; es ist nur der Kitt, in welchen die Schleifsteine gefasst sind . . . indem es an seiner Sohle Gesteinstrümmer fortschleift, erhält es die Wirkung einer Feile." Zöppritz meint (a. a. O.), zusammengekittete Stahlkörner lieferten deshalb noch keine brauchbare Feile, denn statt den harten Gegenstand anzugreifen, auf welchen sie wirken sollen, werden diese Stahlstücke sicher den Kitt zerbrechen, in welchen sie gefasst sind. So kommt es denn auch uns ungleich wahrscheinlicher vor, dass ein spitzer Stein, der in die unterste Schicht eines Gletschers eingebacken ist, sobald er an ein ernsteres Hinderniss gelangt, sich in die plastische Masse des Eises, als dass er sich in den harten Untergrund einbohren werde. Dass der Stein, solange er über eine leidlich glatte Fläche hinstreift, dieselbe leicht zu ritzen und noch mehr abzuglätten im Stande ist, muss dagegen zugestanden werden.

Der moderne Kodex der Glacialtheorieen, Heim's Werk, ist der Erosionslehre nichts weniger als günstig [189]. Der Gletscher selbst verrichtet erodirend „nur untergeordnete Detailarbeit", er nutzt sehr langsam die Ecken und Kanten ab, aber zur Veränderung der einmal vorhandenen Thalform trägt er seinerseits nichts mehr bei. Durch Heim, der sich, wie schon seine Untersuchungen über Gebirgsbildung zeigen, von allen Fachmännern das Wesen der Plasticität wohl am klarsten gemacht hat, ist den Befürwortern der Gletschererosion eine kräftige Stütze durch den Hinweis auf den Umstand entzogen worden, dass der Druck des Gletschers nicht proportinal seiner Mächtigkeit wächst, dass vielmehr von einer gewissen Grenze ab die Druckvermehrung sich in energischerer plastischerer Umformung des Eises bethätigt [190]. — Wollte man aber einwenden, ohne eine entsprechende Inanspruchnahme der Erosion lasse sich das Dasein der Grundmoräne nicht erklären, so antworten wir mit Heim und auf die Ausführungen des vorigen Paragraphen Bezug nehmend, dass ein guter Theil der Grundmoräne eingesunkenes Material der Obermoräne ist, dass schon vor der Vergletscherung in den nach und nach vom Eise überzogenen Thälern Verwitterungsschutt vorhanden war, und dass dann allerdings der vielfach vorhandene Schleifschlamm und Schleifsand auf die Reibung zwischen dem Untergrunde und dem fortschreitenden Gletscher hinweist [191]. Diese Ueberzeugung nehmen wir mit, indem wir uns jetzt dem jüngsten und vielleicht reizvollsten Zweige der geologischen Forschung zuwenden, der eben seiner Jugend halber sich noch wenig zur systematischen, um so mehr aber zur historischen Darstellung eignet. In dem Werke von Penck erhalten wir eine solche in trefflichster Form.

§. 11. **Die glacialen Formationen und ihre Besonderheiten.** Ueber die Abhänge des schweizerischen Jura und über die Ebenen des nördlichen Deutschland bis tief in's sarmatische Land hinein findet man

vielfach isolirte Steine von allen Grössenverhältnissen verstreut, deren geognostischer Charakter von demjenigen der örtlichen Formationen grundverschieden ist, und die man deshalb erratische Blöcke oder Findlinge zubenannte. Vergleiche zwischen diesen Steinen und den Bestandtheilen der Alpenmoränen wurden von Playfair, Esmark und Bernhardi angestellt, ohne dass durch die in diesen Vergleichungen steckende gesunde Idee das wissenschaftliche Publikum besonders angeregt worden wäre [192]. In bestimmteren Umrissen trat diese Anschauung zuerst hervor, als Venetz im Jahre 1829 der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft seine Gletschertheorie entwickelte [193]; ihm zufolge sind sämmtliche Findlinge wirkliche Ueberbleibsel von Moränen, durch seitdem längst verschwundene Gletscher in einer Zeit ausgedehnterer Uebereisung der Erdoberfläche an jenen Ort verbracht, an welchem sie sich heute befinden. J. Charpentier entdeckte ein neues wichtiges Beweismittel für diese Auffassung, indem er geglättete und geschrammte Gesteinsflächen als Schliffe vorzeitlicher Gletscher nachwies [194]. Agassiz trat in seinem uns bereits wohlbekannten „Essai sur les glaciers" auf die Seite von Charpentier, unterschied sich aber von ihm durch die Annahme einer periodisch wiederkehrenden Totalvereisung der Erde (Kap. IX, §. 2 und 3 der fünften Abtheilung), während Ersterer vorsichtig nur ein lokales Hinauswachsen der Gletscher über ihre gewöhnlichen Grenzen zuzugestehen bereit war. Mag man auch in diesem Punkte heute wohl mehr für Charpentier als für Agassiz Sympathie fühlen, so muss man doch dem Letzteren unbedingt die Ehre lassen, die glaciale Formation als solche dem Besitzstande der Geologie einverleibt zu haben. Er hatte das Glück, die Gletscherresiduen auch in anderen Ländern, als blos in der Schweiz, studiren und den Unterschied zwischen alpiner und nordischer Uebereisung klar legen zu können [195].

Bald begannen tiefer greifende Meinungsverschiedenheiten bezüglich jener Eisspuren des Nordens unter den Gelehrten sich geltend zu machen, die Drifttheorie suchte die Glacialtheorie im engeren Sinne zu verdrängen [196]*). Man nahm theilweise zu der Vorstellung seine Zuflucht, dass das jetzige Norddeutschland dereinst von einem ausgedehnten Meere, von einer mächtig vergrösserten Ostsee, bedeckt gewesen sei, auf welcher zahlreiche Eisberge, die Ueberreste gekalbter skandinavischer Eisberge, umherschwammen [199]. Beim Stranden fielen die von diesen Eisbergen mitgeführten Steine und Geröllmassen — s. S. 430 dieses Bandes — zu Boden und blieben als erratische Blöcke im wahrsten Sinne des Wortes auf dem Sedimentärboden liegen, welcher sich aus den mehr und mehr verlaufenden Gewässern abzuscheiden begann. Die vielen Reste von Süsswasser-Konchylien, welche sich vorfinden, legten die Frage nahe, ob jenes Diluvialmeer denn auch wirklich einen solchen Salzgehalt, wie die Meere der Gegenwart, besessen habe; die Antwort auf diese Frage

*) Zur Orientirung über den Kampf zwischen Drifttheoretikern und Glacialisten sehr geeignet ist ein älterer Aufsatz von Penck [197], in welchem das Beweismaterial nicht einen so bedeutenden Raum einnimmt, wie in dem grösseren Werke. Populär und übersichtlich hebt Schunke [198] die wichtigsten Streitpunkte heraus.

gestaltete sich sehr verschieden bei den einzelnen Anhängern der Drifttheorie, von denen z. B. J. Roth [200] für einen mehrmals wiederholten Wechsel von Versalzung und Aussüssung sich entschied. Auch Erosionswirkungen sollten nach Lyell u. A. die treibenden Eisschollen ausgeübt haben; dass diess an sich nicht unmöglich ist, wissen wir zur Genüge, aber freilich sind jene, die wir als wirklich bestehend erkannt haben, von den regelmässigen Kritzungen und Schürfungen, um welche es sich hier handelt, sehr verschieden*). Nachdem die Drifttheorie in Deutschland sich eine Zeit lang nur noch durch Kompromisse mit der ihr entgegenstehenden Ansicht einigermassen zu behaupten vermocht hatte**), unterlag sie zuletzt endgültig. In Skandinavien war es besonders Torell, der in einer besonderen Schrift***) die Ueberlegenheit der Glacialtheorie begründete, in Deutschland wirken in diesem Sinne hauptsächlich H. Credner und Penck mit einem zahlreichen geologischen Nachwuchse, während in anderen Ländern die Lehre vom Diluvialmeere noch immer festgehalten und z. B. in Lapparent's neuem Lehrbuche der Geologie mit Ausschliesslichkeit vorgetragen wird [204]. B. Studer (N. Jahrb. f. Miner. 1838, S. 278) meinte, Agassiz solle es sich doch „noch zehnmal überlegen", ob er nicht das Abglättungswerk lieber den Diluvialströmen, als den Gletschern übertragen wolle, und der Nestor der deutschen Geologen, v. Dücker, spricht sich in seinem Schriftchen „Die Eisperiode in Europa" (Minden 1881) in demselben Sinne aus, ohne freilich die Glacialthätigkeit gänzlich auszuschliessen. Dass man neuerdings die Wirkungen des strömenden Wassers neben denjenigen des fliessenden Eises etwas zu gering geschätzt hat, soll dabei freilich nicht in Abrede gestellt worden; es ist in dieser Beziehung auf Heim's Nebeneinanderstellung beider Kraftwirkungen, wie sie sich in ihren Spuren offenbaren, zu verweisen [205].

Wir haben uns nun zuerst zu fragen, welches denn die Eigenthümlichkeiten der glacialen Formation in geognostischer Hinsicht sind. Charakteristisch für dieselbe sind, wie wir schon wissen, zunächst grosse Gesteinsblöcke, Geschiebe, welche den anderen Namen Geschiebeformation als einen berechtigten erkennen lassen. Diese Steine jedoch sind eingebettet in eine Sedimentmasse, welche Geschiebelehm oder — als unerhebliche petrographische Varietät des ersteren — auch Geschiebemergel benannt wird und theilweise als eine Masse von grosser Mächtigkeit über die norddeutsche Tiefebene ausgebreitet ist, theilweise auch nur wie eine lose Decke über dem Sande liegt. Jene Steinbrocken, deren wir so oft Erwähnung thaten, sind stets dazu geeignet, den suchenden Geologen auf die richtige Spur zu leiten†), doch bestimmen sie allein den geognostischen Cha-

---

*) Nach Heim [201], sind diese Differenzen am abgeschlagenen Handstücke freilich so gut wie verwischt; in der freien Natur aber fehlt es auch ihm zufolge nicht an Hülfsmitteln für den geübten Geologen, um den Unterschied herauszufinden.

**) Es war besonders Berendt, der eine solche Ausgleichung zwischen den beiden geologischen Systemen befürwortete [202].

***) Das Schriftchen hat durch Quaglio eine deutsche, jedoch leider nicht strengeren Anforderungen entsprechende Bearbeitung erfahren [203].

†) Der bekannte Mineraloge Hausmann (Band I, S. 23), der unter den vorurtheilslosen Interpreten der von den Findlingsblöcken gebotenen Räthsel mit an erster Stelle genannt werden muss [206], wies u. a. auch darauf hin, dass die

rakter der Formation noch nicht. Ueber diesen spricht sich vielmehr Penck aus, wie folgt [207]. „Der Geschiebelehm Deutschland's wird aus Gesteinsmaterial zusammengesetzt, welches mehr oder minder weit südwärts transportirt worden ist. Seine Hauptmasse ist jedoch im Allgemeinen nicht allzu weit verschleppt und entstammt dem Untergrunde. Da dieser auf grosse Strecken lediglich aus losen Gebilden der Tertiärformation, zum Theile auch aus älteren Diluvialschichten besteht, so kann es nicht Wunder nehmen, dass der Geschiebelehm im Allgemeinen ziemlich gleichbleibende Zusammensetzung hat und sich vorzugsweise aus sandigem und thonigem Materiale aufbaut, während die Geschiebe kaum 5, höchstens 10 % seiner Masse ausmachen*).“ Natürlich fehlt es nicht an regionalen Abweichungen, die Geschiebeformation der Mark [209] ist eine etwas andere, wie diejenige Preussen's [210], und von diesen wieder ist verschieden der Blocklehm des Königreichs Sachsen, von dem wir durch Penck's geologische Aufnahme der Colditzer Gegend [211] und durch Mehner's Beschreibung aller Ablagerungen im nördlichen Sachsen [212] Genaueres wissen. Gemeinsam allen diesen Gegenden ist aber nach H. Credner [213] das Vorkommen von Rundhöckern, Schliffflächen, Schrammen, Furchen und Ritzen, wie denn z. B. bei Taucha spiegelglatte Schliffe sich an den — durch Steinbruchanlagen aufgedeckten — Porphyrklippen hinaufziehen**). Weiche Massen erlitten in ihren Schichten durch den Gletscherschub Stauchungen, Zusammenschiebungen, Ueberkippungen und selbst Zerreissungen. Vor Allem aber begegnen wir im Gefolge der Geschiebebildungen sehr häufig zwei eigenartigen Bodenaushöhlungen, den geologischen Orgeln und den Riesentöpfen.

Unter einer geologischen Orgel versteht man eine energische, vertikal abwärts gehende Aushöhlung des festen Gesteines, welche durch einen mit der darüber gelagerten Lettenmasse zusammenhängenden Lehmzapfen ausgefüllt ist. In Fig. 106 sehen wir eine von Penck [215] aufgefundene und beschriebene geologische Orgel aus der Umgegend von Crimmitzschau vor uns. Bronguiart scheint [216] zuerst

---

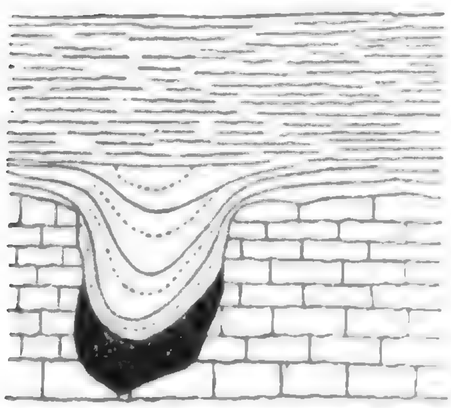
Südgrenze des Verbreitungsbezirkes der erratischen Blöcke mit der Südgrenze der — grossentheils aus solchem Materiale aufgebauten — „Hünengräber“ zusammentreffe.

*) Die amerikanische Abart der Geschiebeformation ist uns durch Ratzel [208] gleichfalls genau bekannt geworden. Ueber die als „Coteau des prairies“ und als „Coteau du Missouri“ bezeichneten Tafelländer sind ungeheure Schuttmassen hingelagert, die als eiszeitliche Gebilde anerkannt, von den wesentlich auf Lyell'schem Boden fussenden Geologen der Union aber als Drift bezeichnet werden. Zu unterst liegt ein ungeschichteter, zäher, blauer Thon, der Gerölle und Blöcke umschliesst und Schollenthon („Boulder clay“) genannt wird — der „Erie clay“ ist nur eine Spielart desselben —, hoher aber begegnet man vielfach im Westen einer mit Baumstümpfen erfüllten kohligen Schicht („Forest bed“), und darüber hin erstrecken sich Schwemmprodukte („Lacustrine deposits“), feine, sandige Thone, die mit dem Löss (§. 6 des ersten Kapitels) Aehnlichkeit haben, als Uferbildner aber gewöhnlich „Bluff formation“ heissen. Ueber allen diesen Bildungen liegt endlich die eigentliche Eisberg- oder Gletscher-Drift ausgebreitet, welche mit ihrer europäischen Schwester in allen wesentlichen Punkten übereinstimmt.

**) Besonders schöne Belege für die schrammende Gletscherwirkung sind durch den Forschungseifer Wahnschaffe's herbeigeschafft worden [214], namentlich aus den braunschweigischen Sandsteinbrüchen von Velpke. Auf die Kompassbeobachtungen an Schrammen, welche dieser Forscher anstellte, werden wir gleich nachher zurückkommen.

von diesen „puits naturels" berichtet zu haben, Matthieu schilderte sie [217] als „Erdpfeifen von Mastricht"; auch aus England, Venezuela und aus der Eifel liefen Nachrichten über das Vorkommen solcher Gebilde ein. Genetisch werden die Orgeln auch von den Anhängern der Gletschererosion nicht mit der Geschiebeformation in Beziehung gesetzt, man nimmt vielmehr mit Prestwich [218] an, dass die Tageswässer durch die Ritzen der Lehmdecke hindurch in den unteren Kalkstein einsickerten, diesen chemisch zersetzten und so die Oeffnungen schufen, in welche der Geschiebelehm durch seine eigene Schwere hineingepresst wurde*). Die Riesentöpfe sind dagegen nach Credner (a. a. O.) brunnenartige Vertiefungen, die man zuerst im Muschelkalk von Rüdersdorf, im Gips von Wapnow, im Diluvialthon von Uelzen und im Jura der Odermündungen entdeckte**). Man denkt an Gletschermühlen und Gletscherbäche als die Erzeuger dieser Hohlräume, und es finden sich auch, wie Berendt, der gründlichste Erforscher dieser Phänomene, darthat [226], an heutigen Gletschern noch die Bedingungen für das Zustandekommen der gewaltigen Erosionsstrudel zusammen, denen allein eine so mächtige geologische Korkzieherwirkung zuzuschreiben ist. Natürlich können solche Kessel, für welche die Bezeichnung Gletschertöpfe somit eine viel zu enge ist, auch durch andere, als durch glaciale Faktoren entstehen; „nur genaues Studium des einzelnen Falles kann entscheiden, ob ein bestimmter Riesentopf zu den Zeugen der Eiszeit zu rechnen ist oder nicht" [227]. Die Karrentrichter besprechen wir, als nicht-glacial, erst in Kap. V.

Fig. 106.



Bunte Letten. Zechstein. Schwarze Thonerde

Unsere Erörterungen bezogen sich bis jetzt ziemlich ausschliesslich auf das schweizerische Alpenvorland und die nordische Tiefebene; es fehlt jedoch keineswegs an Zeugnissen***) für andere Länder. Zwei muster-

*) Der Leser möge die ungemein grosse Aehnlichkeit beachten, welche zwischen der Schichtenausbiegung des durch ein Loch sich senkenden Mergels und der in Fig. 103 dargestellten Schichtenkonfiguration einer ausgepressten Metallmasse obwaltet.

**) Einige neuere Arbeiten über Riesentöpfe seien hier kurz besprochen. Berendt schilderte, wie erwähnt, die bei der geologischen Erforschung der preussischen Monarchie entdeckten hannöver'schen Kessel [219], von den Arbeitern der Gruben „Sandbüchsen" genannt, Nötling [220] und Penck [221] verbreiteten sich über die Rüdersdorfer Bildungen, welche dem letzteren zufolge übrigens grossentheils postglaciale Sicker- und Auswitterungslöcher sind. Für Schlesien, Kurland und Livland ist das Vorhandensein der Strudellöcher resp. von H. Gruner [222], von v. Helmersen [223] und von Grewingk [224] nachgewiesen worden; Commenda fand solche auch in Oberösterreich [225].

***) Die Grenzen des bis zum Emmenthal reichenden Rhône-Gletschers wurden, um von zahlreichen Arbeiten dieser Art nur einige hervorragende zu nennen, durch Morlot [228] und Bachmann [229] festgestellt. Das Rhône-Bassin auf französischem Gebiete studirte eingehend Falsan [230], der u. a. auch bemerkt, dass die eigenthümlichen Rollsteine des Lyoner Territoriums schon 1765 einen gewissen Alléon Dulac zur Aufstellung einer selbstständigen Drifttheorie veranlasst hätten [231]. Dana wies eine nach seiner Schätzung 1200—1500 m dicke Eisschicht

gültige Monographieen, diejenigen von Partsch [238] und von Penck (s. o.), haben unsere Kenntnisse nach dieser Seite hin erheblich bereichert. In dem ersteren wird an der Hand der glacialgeologischen Beweisführung gezeigt, dass das ungarisch-galizische Grenzgebirge, dass Sudeten, Schwarzwald, Vogesen (s. o.) und sogar der Harz Moränenreste aufweisen, wogegen für Thüringerwald und Erzgebirge der Autor sich mit einem negativen Resultate begnügen musste. Jene Kessel- oder Cirkusthäler allerdings, die das mitteleuropäische Gebirge vielfach mit dem norwegischen gemein hat, rechnet Partsch, der überhaupt der Gletschererosion mit anerkennenswerther Reserve gegenübertritt, nicht eigentlich der glacialen Formation zu [239], wiewohl bei ihnen, die meist durch hohe Riegel allseitig abgeschlossen sind, die Erklärung durch Erosion des fliessenden Wassers ihre besonderen Schwierigkeiten bietet*).

Das Penck'sche Werk**) führt uns in anregender Darstellung zur genauen Kenntniss jener Moränenlandschaft, welche vom Fusse der bayerischen Alpenkette sich weit gegen die Donau hinabzieht. Frühere Beobachtungen von Gümbel, Stark, v. Zittel u. A. verwerthend, schildert es uns eingehend die schwäbisch-bayerische Grundmoräne, „ein Gemisch aller jener Gesteinsarten, über welche der Gletscher geschritten ist“ [244]. Es verfolgt die Wege, auf welchen der Isar- und der Inn-Gletscher***) in's Flachland hinaus geschritten sind, und stellt die interessante Thatsache fest, dass der — damals wohl überhaupt noch nicht vorhandene — Fern-Pass von jenen Gletschern nicht als Strasse gewählt wurde [245]. Darin, dass „der Hauptgesteinstransport nicht auf dem Rücken der Gletscher, sondern unter deren Sohle durch die Grundmoränen geschah“ [246], ähneln (s. o. §. 9) die alten tyrolisch-bayerischen Gletscher sehr dem polaren Binneneise. Eine wichtige Entdeckung Penck's ist diejenige [247], durch welche Gümbel's erratische Geschiebe als Glacialschotter der Mo-

---

für die geologische Vorläuferin der heutigen canadischen Seengegend nach [232], Ch. Darwin konstatirte erratische Blöcke und Gletscherspuren in Patagonien [233]. Die Eiszeit der Pyrenäen ist durch eine zum Zwecke ihrer Erforschung unternommene Studienreise Penck's aus erschlossen worden [234], und die glacialgeologischen Erscheinungen im Kaukasus sind merkwürdigerweise weit eher jenen der Pyrenäen, als jenen der Alpen vergleichbar [235]. Im Himálaya und seinen Adjacenten hatten die Gletscher dereinst eine weit grössere Ausdehnung, als heutzutage, wogegen die inner- und nordasiatischen Gebirge, Kleinasien, das australische Festland und fast ganz Afrika — am Atlas sollen Moränenspuren vorkommen — zu gar keiner Zeit vergletschert gewesen zu sein scheinen. „Ueberblicken wir das Ganze,“ sagt Heim [235], „so müssen wir zugestehen, dass in früherer Zeit grosse Gletscher fast nur da gewesen sind, wo auch jetzt noch Gletscher vorkommen. — Eine treffliche Anleitung zur glacialgeologischen Forschung im Detail repräsentirt G. Gerland's Durchsuchung der Vogesen [237], durch welche auf der einen Seite einer in ihrer Lage eben von dem genannten Forscher fixirten „Höhenaxe“ massenhafte Gletscherüberreste aufgefunden und bestimmt worden sind.

*) Für die glaciale Entstehung der amphitheatralischen Bildungen war eifrig der Norweger Helland eingetreten [240]. Bonney widerlegte ihn mit guten Gründen [241].

**) Die Bedeutung des Penck'schen Werkes wird neben anderen bekundet durch die ausführlichen und lehrreichen Besprechungen v. Richthofen's [242]. und H. J. Klein's [243].

***) Für diesen letzteren, der bis in die Nähe von Burghausen reichte, steht eine besondere Spezialschrift von Brückner in naher Aussicht.

ränenformation eingereiht wurden. Dabei ist zwischen oberem und unterem Glacialschotter ein Unterschied zu machen [248]; wie auf der bayerischen Hochebene, so gieng auch im Thale des Inn eine Schotteranhäufung der Ablagerung der Moränen unmittelbar voraus. Ferner gelang es Penck, das als diluviale Nagelfluh bekannte Cementirungsgebilde als mit den charakteristischen Eigenschaften „einer echten Glacialschwemmung“ behaftet zu erkennen [249]. Von Penck's Theorie der Seenbildung sehen wir hier ab, einmal, weil schon im vorigen Paragraphen ein Hinweis darauf zu finden ist, dann aber, weil dieser Gegenstand im nächsten Kapitel noch besonders zu behandeln sein wird. — Noch aber bleibt uns die Pflicht, das wichtigste bereits auf S. 286 dieses Bandes kurz anticipirte Ergebniss in Penck's Forschungscyklus namhaft zu machen. Derselbe fand nämlich bei der Untersuchung der Breccie von Höttingen (bei Innsbruck) (s. o. §. 6), dass deren Struktur nur durch die Annahme eines mehrmaligen Wechsels von Vergletscherungs- und Erosionsperioden zu erklären sei. Jene diluvialen Kohlenlager, welche Gümbel's Kennerblick in den bayerischen Alpen — am Kochelsee und bei Sonthofen — aufgefunden hat [250], sind nach Penck ebenfalls intraglacialen Ursprunges [251]. Da die Höttinger Breccie auch nach einer abermaligen Prüfung von fachmännischer Seite*) ihren Charakter eines beweiskräftigen Zeugnisses für mehrmalige Vergletscherung beibehielt, so nehmen wir heute keinen Anstand mehr, es auszusprechen: Durch die glacialgeologische Forschung der neuesten Zeit ist es so gut wie gewiss gemacht, dass wenigstens die Nordalpen mit ihrem Vorlande eine mindestens zweimalige, wahrscheinlich aber dreimalige Totalvergletscherung erfuhren.

Angesichts des Umstandes, dass durch Keilhack [253] die schon durch Torell wahrscheinlich gemachte**) Identität deutscher und isländischer Diluvialablagerungen dargethan worden ist, wird jene Modifikation der alten Lehre von der Eiszeit wohl auch auf andere Länder übertragen werden müssen. Es sprechen für ähnlichen Wechsel u. a. die abweichenden Richtungen der von Wahnschaffe (s. o.) an abgeglättetem Gestein nachgewiesenen Schrammensysteme.

[1] Güssfeldt, Ueber die Eisverhältnisse im Hochgebirge, Verhandl. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 6. Band. S. 87 ff. — [2] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, Wien 1873. S. 107 ff. — [3] Payer, Die zweite deutsche Nordpolexpedition, Petermann's geogr. Mittheil., 1871. S. 123 ff. — [4] Hällström, De termino atmosphaerae terrestris nivali dissertatio, Aboae 1823. — [5] Bouguer, Figure de la terre, Paris 1749. S. XLVI ff. — [6] A. v. Humboldt, De distributione geographica plantarum secundum coeli temperiem et altitudinem montium prolegomena, Paris 1817. S. 122 ff.; Essai sur la géographie des plantes, ibid. 1807. S. 32 ff.; Recueil d'observations trigonométriques et de mesures barométriques, rédigées par J. Oltmanns, Paris 1819. S. 329; Sur la limite inférieure des neiges perpétuelles dans

*) A. Böhm konstatirt ausdrücklich [252], dass man mit der Annahme, die Eisbedeckung habe für den fraglichen Ort gewisse Schwankungen durchgemacht, nicht auskommen könne; es müsse ein gänzliches Schwinden des Eises in der Zwischenzeit stattgefunden haben.

**) Dass Keilhack's hierauf bezügliche Beobachtungen sachlich nicht mehr neu, sondern eine Bestätigung Torell'scher Funde seien, hat Nathorst bemerkt [254].

les montagnes d'Himalaya et les régions équinoxiales, Ann. de chim. et de phys., Vol. XIV. — [7] v. Buch, Ueber die Grenzen des ewigen Schnee's in Norwegen (Gilbert's) Ann. d. Phys., 35. Band. S. 319 ff. — [8] De la Condamine, Journal de voyage à l'équateur, Paris 1751. S. 48 ff. — [9] Travels of Ali Bey in Marocco, Vol. I., London 1816. S. 40 ff. — [10] Wahlenberg, Berättelse om mäteingar och observationer för att bestämma Lappska-Fjällens höjd och temperatur, Stockholm 1808. S. 33 ff.; Flora Carpathorum, Gottingae 1814. S. LXXIII. — [11] Parrot, Grundriss der Physik der Erde und Geologie, Riga und Leipzig 1815. S. 174 ff. — [12] D'Aubuisson, Traité de géognosie, deutsch von Wiemann, 1. Theil, Dresden 1821. S. 422 ff. — [13] Tob. Mayer, De investigandis legibus variationum thermometri, Op. ined. ed. Lichtenberg, Vol. I., Gottingae 1764. S. 4 ff. — [14] H. v. Schlagintweit, Meteorologische Resultate aus Indien und Hochasien. München 1865. S. 25 ff. — [15] Stebnitzki, Die Höhe der Schneegrenze im Kaukasus, Petermann's geogr. Mittheil., 1879. S. 111. — [16] H. Berghaus, Höhentafel von 100 bekannteren Gebirgsgruppen der Erde, besonders der Alpen. Behm-Wagner's geogr. Jahrb., 1. Band, Gotha 1866. S. 256 ff.; Höhentafel von 100 Gebirgsgruppen aus allen Erdtheilen, ibid., 5. Band, Gotha 1874. S. 472 ff. — [17] Penck, Geographische Wirkungen der Eiszeit, Verhandl. d. IV. d. Geographent., Berlin 1884. S. 66 ff. — [18] Höfer, Gletscher- und Eiszeitstudien, Wien 1879. — [19] A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885. S. 15. — [20] Venetz, Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes, Denkschr. d. allgem. schweiz. Ges., 1. Band, 2. Theil, 1833. — [21] Kasthofer, Bemerkungen auf einer Alpenreise über den Susten, nebst Betrachtungen über die Veränderungen des Klima's des bernischen Hochgebirges, Aarau 1822. — [22] Coaz, Die Lawinen in den Schweizer Alpen, Bern 1881. — [26] Heim, Handbuch, S. 25. — [27] Ibid. S. 35. — [28] Stichler, Alpenlawinen und deren Abwehr, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 1885. S. 47. — [29] — R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 1. Band, Zürich 1858. S. 192; 3. Band, Zürich 1860. S. 139. S. 163 ff. — [30] Altmann, Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der Helvetischen Eisberge, Zürich 1751. — [31] Ibid. S. 5. — [32] Ibid. S. 99. — [33] S. Gruner, Die Eisgebirge des Schweitzerlandes, Bern 1760. — [34] Gruner, Reise durch die merkwürdigsten Gegenden Helvetiens, Bern 1778. — [35] Mousson, Die Gletscher der Jetztzeit, Zürich 1854. — [36] Simony, Gletscherphänomene, Tableau in Lichtdruck, Wien 1881. — [37] A. Heim, Ueber Gletscher, Ann. d. Phys. u. Chem., 5. Ergänzungsband. S. 30 ff. — [38] Heim, Handbuch, S. 39. — [39] Ibid. S. 414 ff. — [40] E. Richter, Der Blaueisgletscher am Hochkalter bei Berchtesgaden, Ausland. 1882. S. 13 ff.; Der südlichste Gletscher von Europa, ibid. 1882. S. 256 ff. — [41] Marinelli, I più orientali ghiacciai d'Italia, Padova 1883. — [42] Heim, Handbuch, S. 426. — [43] Shaw, Reise nach der hohen Tartarei, Yârkand und Kaschgar und Rückreise über den Karakorum-Pass, deutsch von Martin, Jena 1872. S. 369. — [44] v. Cotta, Die Geologie der Gegenwart, Leipzig 1874. S. 336 ff. — [45] Heim, Handbuch, S. 440. — [46] Güssfeldt's Reise in den centralen chileno-argentinischen Alpen, Gaea, 20. Jahrgang. S. 582 ff. — [47] Haast, Notes on the mountains and glaciers of the Canterbury Province, New-Zealand, Journ. of the geogr. society. Vol. XXXIV. S. 87 ff. — [48] Heim, Handbuch, S. 456. — [49] Ibid. S. 466. — [50] Ibid. S. 470 ff. — [51] Ibid. S. 480. — [52] Ibid. S. 485 ff. — [53] Ibid. S. 490. — [54] Helmholtz, Eis und Gletscher, Populäre wissensch. Vortr., 1. Heft, Braunschweig 1865. S. 99. — [55] Rendu, Théorie des glaciers des Alpes, Chambéry 1843. — [56] Heim, Handbuch, S. 41. — [57] Hayes, Das offene Polarmeer, deutsch von Martin, Jena 1868. S. 170 ff. — [58] E. Richter, Beobachtungen an den Gletschern der Ostalpen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 14. Band. S. 61. — [59] Heim, Handbuch, S. 45. — [60] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 108 ff. — [61] Heim, Handbuch, S. 58. — [62] Ibid. S. 90. — [63] Ibid. S. 96 ff. — [64] Ibid. S. 99. — [65] Ibid. S. 107. — [66] Helmholtz, Eis und Gletscher, S. 120 ff. — [67] Heim, Handbuch, S. 108 ff. — [68] Ibid. S. 117. — [69] Hagenbach-Bischoff, Das Gletscherkorn. Verhandl. d. naturw. Ges. zu Basel, 7. Theil. S. 192 ff. — [70] Hugi, Die Gletscher und die erratischen Blöcke, Solothurn 1843. S. 10 ff. — [71] Forel, Le grain du glacier, Arch. des sciences phys. et nat. de Genève, tome VII. S. 329 ff. — [72] Tyndall, Glaciers of the Alps, London 1860. S. 354 ff. — [73] Grad-Dupré, Observations sur la constitution et le mouvement des glaciers, Compt rend. de l'ac. franç., vol. LXIX. S. 955 ff. — [74] Heim, Handbuch, S. 125. — [75] Klocke, Ueber die optische Struktur des Gletschereises, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1881. S. 23 ff. — [76] Heim, Ueber Gletscher, S. 38. — [77] Forel, Le grain etc., S. 346. — [78] Heim, Handbuch, S. 128. — [79] Tyndall, Das Wasser in seinen

Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher, Leipzig 1873. S. 152. — [80] Heim, Handbuch, S. 134. — [81] Guyot, Sur les crévasses des glaciers, Neuchâtel 1838. — [82] Agassiz, Système des glaciers (auch deutsch), Solothurn 1841. S. 301. — [83] Heim, Handbuch, S. 138 ff. — [84] Ibid. S. 140. — [85] Tyndall, In den Alpen, Braunschweig 1872. S. 333. — [86] Altmann, Versuch etc., S. 83. — [87] Döderlein, Seb. Münster, ein Wiedererwecker des Ptolemäus, Bl. f. d. bayr. Gymn.- u. Realschulwesen, 15. Band. S. 435. — [88] Heim, Handbuch, S. 143 ff. — [89] Bessels, Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 399. — [90] F. Pfaff, Das Mikrogoniometer ein neues Messinstrument und die damit bestimmten Ausdehnungskoefficienten der Metalle, Erlangen 1872. — [91] Klocke, Die Art der Gletscherbewegung, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 11. Band. S. 66. — [92] Pfaff, Einige Bemerkungen zu den Beobachtungen über Gletscherbewegung von den Herren Koch und Klocke, ibid. 11. Band. S. 198 ff. — [93] Pfaff, Untersuchungen über die Bewegung des Pasterzengletschers, ibid. 12. Band. S. 1 ff. — [94] Forel, Die Vermessung des Rhônegletschers durch den Schweizer Alpenklub, ibid. 13. Band. S. 301 ff. — [95] Ibid. S. 310. — [96] E. Richter. Beobacht. etc., S. 38 ff. — [97] Ibid. S. 50. — [98] Heim, Handbuch, S. 144 ff. — [99] Ibid. S. 156. — [100] Ibid. S. 161 ff. — [101] Tyndall, In den Alpen, S. 382 ff. — [102] Heim, Handbuch, S. 166 ff. — [103] Ibid. S. 168 ff. — [104] Pfaff, Einige Bemerk. etc., S. 203. — [105] Heim, Handbuch, S. 187. — [106] Ibid. S. 190 ff. — [107] St. Venant, Sur l'établissement des équations des mouvements intérieures opérés dans les corps solides ductiles au delà des limites où l'élasticité pourrait les amener à leur premier état, Compt. rend. de l'ac. franç., vol. LXX. S. 477 ff. — [108] Levy, Mémoire sur les équations générales etc., ibid. vol. LXX. S. 1323 ff. — [109] Tresca, Mémoire sur le poinçonnage des métaux, Mém. pésentés par div. sav., tome XX. S. 617 ff. — [110] Tresca, Mémoire sur l'écoulement des corps solides, ibid. tome XX. S. 75 ff. — [111] Tresca, Sur l'écoulement des corps solides malléables poussés hors d'un vase circulaire par un orifice circulaire, Compt. rend., vol. LXX. S. 217 ff. — [112] Tresca, Mém. sur l'écoulement etc., S. 77. — [113] Tyndall, In den Alpen, S. 315 ff. — [114] Heim, Handbuch, S. 191. — [115] Ibid. S. 196. — [116] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara, deutsch von Vogt, Jena 1872. S. 316. — [117] Tyndall, In den Alpen. S. 289. — [118] Heim, Handbuch, S. 205. — [119] Ibid. S. 209. — [120] Ibid. S. 211. — [121] Ibid. S. 216. — [122] Ibid. S. 290 ff. — [123] Grünwald, Zur Geschichte der Gletscherforschung etc., Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 13. Band. S. 330 ff. — [124] Heim, Handbuch, S. 284 ff. — [125] Helmholtz, Eis und Gletscher, S. 130 ff. — [126] Tyndall, In den Alpen, S. 352. — [127] Heim, Ueber Gletscher, S. 43. — [128] Heim, Handbuch, S. 286 ff. — [129] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 544 ff. — [130] Hugi's Bemerkungen über das Leuchten der Firnmassen, (Kastner's) Arch. d. Chem. u. Met., 2. Band. S. 390. — [131] Heim, Handbuch, S. 289. — [132] Ibid. S. 292. — [133] Scheuchzer, Itinera per Helvetiae alpinas regiones facta, Vol. IV., Lugduni Batavorum 1723. S. 287. — [134] Grünwald, Zur Gesch. etc., S. 333. — [135] Vgl. [71]. — [136] Stapff, Ueber das physikalische Verhalten der Gletscher, Zeitschr. d. d. geol. Ges., 34. Band. S. 80 ff. — [137] Heim, Handbuch, S. 299 ff. — [138] Heim, Ueber Gletscher, S. 47. — [139] Matthews, On the contributions of the glacier motion and the present state of the problem, Alpine Journal, 1870. S. 411 ff. — [140] Heim, Handbuch, S. 307 ff. — [141] Ibid. S. 311. — [142] Vgl. [55]. — [143] A. u. H. v. Schlagintweit, Neue Untersuchungen über die physikalische Geographie und Geologie der Alpen, Leipzig 1854. S. 124 ff. — [144] Forbes, Illustrations of the viscous theory of glacier motion, Phil. Trans., 1846, II, Part 1, S. 143 ff., Part 2, S. 157 ff., Part 3, S. 177 ff. — [145] Bottomley, Flow of viscous materials — a model glacier, Nature, Vol. XXI. S. 159. — [156] Thomson-Tait, Handbuch der theoretischen Physik, deutsch von Helmholtz-Wertheim, 2. Band, 2. Theil, Braunschweig 1874. S. 290 ff. — [147] Moseley, On the mechanical impossibility of the descent of the glaciers by their weight only, Phil. Mag., 1869. S. 363 ff. — [148] Croll, On the cause of the motion of glaciers, ibid. 1870. S. 210 ff. — [149] Spring, Recherches sur la propriété des corps solides de se souder par l'action de la pression, Bull. de l'ac. belge des sciences, (2) Vol. LXIX. S. 323 ff. — [150] Heim, Handbuch, S. 322. — [151] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1872. S. 21. — [152] Heim, Handbuch S. 334 ff. — [153] Ibid. S. 219. — [154] Ibid. S. 226. — [155] Ibid. S. 244. — [156] Ibid. S. 247 ff. — [157] Ibid. S. 255 ff. — [158] Ibid. S. 410 ff. — [159] Nordenskiöld, Studien und Forschungen, veranlasst durch meine Reisen im hohen Norden, Leipzig 1885. S. 65 ff. S. 112 ff. — [160] W. Kaiser, Die Flora des Schnee's und Eises,

Gaea, 20. Jahrgang. S. 275 ff. — [161] Saussure, Voyages dans les Alpes, Vol. II., Neuchâtel 1786. S. 44 ff. — [162] Nordenskiöld, Studien etc., S. 68 ff. — [163] Ibid. S. 97. — [164] Penck, Die Gletscher Norwegen's, Leipzig 1879. — [165] Heim, Handbuch, S. 343. — [166] Ibid. S. 356. — [167] Ibid. S. 502. — [168] Ibid. S. 506. — [169] Ibid. S. 510. — [170] Diener, Beobachtungen an den Gletschern des Schwarzensteingrundes, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 9. Band. S. 77 ff. — [171] Biermann, Ueber die vermutheten Veränderungen der Gletscher des Schwarzensteingrundes. ibid. 9. Band. S. 323 ff. — [172] Heim, Handbuch, S. 512. — [173] Ibid. S. 520. — [174] Fritz, Die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde, Harlem 1878. S. 130 ff. — [175] E. Richter, Ueber Beobachtungen an den gegenwärtigen Gletschern, Verhandl. d. IV. d. Geographent., Berlin 1884. S. 87. — [176] E. Richter, Beobachtungen etc., S. 57 ff. — [177] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrb., 10. Band, Gotha 1885. S. 53. — [178] v. Frey, Ueber die Ursachen der Gletscherschwankungen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 14. Band. S. 244 ff. — [179] Ibid. S. 253. — [180] Tyndall, In den Alpen, S. 209 ff. — [181] Ramsay, On the glacial origin of certains lakes in Switzerland, Quart. journal of the geol. society, Vol. XVIII. S. 185 ff. — [182] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung, Leipzig 1882. S. 372 ff. — [183] Penck, Geogr. Wirk. etc., S. 66 ff. — [184] Fortschritte der Physik, (Baumgartner's) Zeitschr. f. Phys. u. Math., 1. Band. S. 86 ff. — [185] Zöppritz, Die Fortschr. etc., S. 28 ff. — [186] Oldham, On the modulus of cohesion of ice, and its bearing on the theory of glacial erosion of lake-bassins, Phil. Mag., 1879, II. S. 240 ff. — [187] Penck, Die Vergletsch. etc., S. 379. — [188] Ibid. S. 380. — [189] Heim, Handbuch, S. 383 ff. — [190] Ibid. S. 385. — [191] Ibid. S. 400 ff. — [192] Penck, Die Vergletsch. etc., S. 3. — [193] Venetz, Mémoire sur l'extension des anciens glaciers, Neue Denkschr. d. allg. schweiz. Ges., 18. Band, 1832. — [194] J. Charpentier, Sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse, Paris 1835; Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône, Lausanne 1841. — [195] Penck, Die Vergletsch. etc., S. 9. — [196] Ibid. S. 14 ff. — [197] Penck, Die Geschiebeformation Norddeutschland's, Zeitschr. d. d. geol. Ges., 31. Band, S. 117 ff. — [198] Schunke, Die Entstehung der norddeutschen Tiefebene, Zeitschr. f. wiss. Geogr., 8. Jahrgang. S. 101 ff. S. 138 ff. — [199] Penck, Die Gesch. etc., S. 141 ff. — [200] J. Roth, Die geologische Bildung der norddeutschen Ebene, Berlin 1870. — [201] Heim, Handbuch, S. 406. — [202] Schunke, Die Entstehung etc., S. 105. — [203] Quaglio, Die erratischen Blöcke und die Eiszeit nach Prof. O. Torell's Theorie, Wiesbaden 1881. — [204] Lapparent, Traité de géologie, Paris 1883. — [205] Heim, Handbuch, S. 402 ff. — [206] Hausmann, De origine saxorum per Germaniae septentrionales regiones arenosas dispersorum, Gottingae 1827. — [207] Penck, Die Gesch. etc., S. 125 ff. — [208] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 121 ff. — [209] Penck, Die Gesch. etc., S. 152 ff. — [210] Ibid. S. 161 ff. — [211] Credner-Penck, Erläuterungen zu der geologischen Spezialkarte des Königreichs Sachsen, Bl. 44, Leipzig 1879. S. 41 ff. — [212] Mehner, Ueber ältere Ablagerungen der skandinavisch-sarmatisch-germanischen Diluvialregion, Wurzen 1883. — [213] H. Credner, Ueber die Vergletscherung Norddeutschlands während der Eiszeit. Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 7. Band. S. 363 ff. — [214] Neueste Auffindungen von Grundmoränen und Gletscherschrammen in Norddeutschland, ibid. 7. Band. S. 443. — [215] Penck, Die Gesch. etc., S. 134. — [216] Bronguiart, Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris, Paris 1811. S. 87. — — [217] Matthieu, Note sur les orgues géologiques, Journal des mines, 1813. S. 197 ff — [218] Prestwich, On the origin of the sand- and gravel-pipes, Quart. journ. of the geol. society, Vol. XI. S. 64 ff. — [219] Berendt, Riesenkessel bei Uelzen, Berlin 1880. — [220] Nötling, Ueber das Vorkommen von Riesenkesseln im Muschelkalke von Rüdersdorf, Zeitschr. d. d. geol. Ges., 31. Band. S. 359 ff. — [221] Penck, Ueber das Vorkommen von geologischen Orgeln und Riesenkesseln zu Rüdersdorf, ibid. 31. Band. S. 627 ff. — [222] H. Gruner, Ueber Riesenkessel in Schlesien, ibid. 32. Band. S. 183 ff. — [223] v. Helmersen, Riesentöpfe in Kurland, ibid. 32. Band. S. 631. — [224] Grewingk, Ueber cylindrische Strudel- und Sickergruben im devonischen Gipslager bei Dünhof oberhalb Riga, Dorpat 1880. — [225] Commenda, Riesentöpfe bei Steyeregg in Oberösterreich, Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1884. S. 308 ff. — [226] Berendt, Ueber Riesentöpfe und ihre allgemeine Verbreitung in Norddeutschland, Zeitschr. d. d. geol. Ges., 32. Band,

S. 56 ff. — [227] Heim, Handbuch, S. 545. — [228] Morlot, Ueber die Diluvial- und Gletschergebilde zwischen Solothurn, Burgdorf und Langenthal, Verhandl. d. naturf. Ges. zu Bern, 1855. S. 25 ff. — [229] Bachmann, Ueber die Grenzen des Rhônegletschers im Emmenthal, ibid. 1882, II. S. 25 ff. — [230] Falsan, Esquisse géologique du terrain erratique de la région centrale du bassin du Rhône, Bull. de la soc. de géogr. de Lyon, tome IV. S. 97 ff. — [231] Ibid. S. 117 ff. — [232] Dana, Manual of geology, Boston 1874. S. 541 ff. — [233] Ch. Darwin. On the distributions of erratic boulders, Trans. of the geol. society, (3) Vol. VI. S. 415. — [234] Penck, Die Eiszeit in den Pyrenäen, Leipzig 1883. — [235] Heim, Handbuch S. 552. — [236] Ibid. S. 556. — [237] G. Gerland, Die Gletscherspuren der Vogesen, Verhandl. d. IV. d. Geographent., Berlin 1884. S. 92 ff. — [238] Partsch, Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und den Mittelgebirgen Deutschland's. Breslau 1882. — [239] Ibid. S. 78 ff. — [240] Helland, On fjords, lakes and cirques in Norway and Greenland, Quart. journal of the geol. society, Vol. XXIII. S. 142 ff. — [241] Bonney, On Mr. Helland's theory of the formation of cirques, Geol. Mag., 1877. S. 273 ff. — [242] v. Richthofen, Besprechung von Penck's Werk, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 9. Band. S. 565 ff. — [243] Klein, Die Vergletscherung der Alpen und die Eiszeit, Gaea, 18. Jahrgang. S. 587 ff. — [244] Penck, Die Vergletsch. etc., S. 46. — [245] Ibid. S. 59. — [246] Ibid. S. 93. — [247] Ibid. S. 130 ff. — [248] Ibid. S. 145. — [249] Ibid. S. 243. — [250] Gümbel, Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes, Gotha 1861. S. 803. — [251] Penck, S. 251 ff. — [252] Böhm, Die Höttinger Breccie. Verhandl. der k. k. geol. Reichsanstalt, 34. Band. S. 147 ff. — [253] Keilhack, Vergleichende Beobachtungen an isländischen Gletscher- und norddeutschen Diluvialablagerungen, Jahrb. d. k. pr. geol. Landesanstalt, Berlin 1883. — [254] Nathorst, Ueber die Beziehungen der isländischen Gletscherablagerungen zum Diluvialsand und Diluvialthon, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1885. S. 74 ff.

Kapitel IV.

Stehende und fliessende Gewässer.

§. 1. **Seen.** Mit dem Worte See bezeichnet man eine jede namhaftere Bodenaushöhlung, welche mit Wasser gefüllt ist. Seen kommen unter allen Breiten vor; auch die Polarregion besitzt ihre kleinen, blaugrünen Wasserbecken. Dass der provincielle Name Meer für Binnensee mitunter vorkommt, ward schon früher (S. 308 dieses Bandes) erwähnt; umgekehrt bezeichnet in Oberschlesien das Volk als Teiche gewisse stehende Wasseransammlungen, welche anderwärts nicht mit dieser oder der synonymen Benennung Weiher belegt, sondern als vollgültige Seen anerkannt werden würden [1]. Zwischen Oberflächengrösse und Tiefe *) besteht keinerlei Relation, vielmehr sind gerade kleine Gebirgsseen oft ungemein tief. Der Wassergehalt der Seen ist im Allgemeinen ziemlich konstant, indem jenen Wassermengen, welche das Becken durch Flüsse, Bäche und meteorische Gewässer gewinnt, ein annähernd gleicher Verdunstungsverlust gegenübersteht. Selbstverständlich hat jeder See seine Schwankungen im

*) An sich sind natürlich die nämlichen Apparate, welche wir als für die Meeressondirung tauglich erkannt haben (S. 327 ff.) auch hier verwendbar. Indess eignet sich für seichtere Gewässer auch sehr gut eine v. Jolly am Königssee erprobte und in den Münchener Sitzungsberichten von 1862 beschriebene Vorrichtung, über welche man sich auch in dem schon mehrfach angeführten Werke von Gelcich [2] Aufschluss erholen kann.

Wassergehalte; in einzelnen Fällen — namentlich in Gegenden mit ausgesprochener Regenzeit — können jene ziemlich beträchtlich sein, was nach Fritz z. B. besonders vom Ukerewe und Tanganijka gilt [3]. Die jährliche Periode der Wasserhöhe stimmt nach Wojeikoff's Messungen gut überein für die drei südlichen nordamerikanischen Seen, die Periode des Ladoga-See's ist die gerade entgegengesetzte, während der obere See zwischen beiden Extremen ziemlich die Mitte hält [4]. Schneeschmelze und Windstau sind die entscheidenden Faktoren *).

Was die physikalischen Eigenschaften des in den Seen befindlichen Wassers anbelangt, so ist über die Färbung bereits im ersten Kapitel der sechsten Abtheilung mit berichtet worden. Die Temperatur **) richtet sich im Allgemeinen nach den Jahreszeiten, wie ein Gleiches ja bekanntlich auch für die oberflächlichen Schichten des Meeres gilt. Im Inneren der Wassermasse bedingt die Wärmeverschiedenheit eine vertikale Cirkulationsbewegung, die nicht blos durch die Theorie gefordert [9], sondern durch F. Pfaff [10] am Achensee auch wirklich nachgewiesen worden ist. Wenn nämlich kälteres Wasser nahe der Oberfläche sich auf 4° erwärmt hat, so erreicht es seine grösste Koncentration, die erlangte grössere Schwere zwingt es zum Untersinken, und so bildet sich für tiefere Seen von einer gewissen oberen Grenze ab eine ziemlich gleichmässige Temperatur heraus. Einströmende Flüsse, unterseeische Quellen und — nach Buchanan — die von Dampfblasen begleitete Oxydation der Bodenbedeckung vermögen begreiflicherweise dieses Durchschnittsverhältniss gar sehr abzuändern; im ersten Bande der Zeitschrift „Hertha" (S. 100) wird gar von einer Quelle nahe bei'm Niagara-Falle erzählt, welche im Sommer zufrierende, im Winter eisfrei bleibende Seen bilden soll. Eine Anzahl neuerer Seetemperaturmessungen, die Forel im Leman, Buchanan in den schottischen, Simony in den oberösterreichischen, Ripley Nichols in amerikanischen Seen erhielten, hat Zöppritz zusammengestellt und diskutirt [11]. Als eine besonders beachtenswerthe Thatsache scheint die angesehen werden zu müssen, dass in kleineren Seen

---

*) Eine — wenn sie sich bestätigt — ebenso merkwürdige als zunächst noch räthselhafte Wahrnehmung will Miklucho Maklay an einem See in Neu-Guinea gemacht haben: bei Tage sank dessen Niveau eben so regelmässig, als es zur Nachtzeit stieg [5].

**) Die ersten vertrauenswürdigen Wärmemessungen stellte Saussure im Genfer-See und in einigen jurassischen Seen an [6], indem er sich dabei eines von Micheli du Crest (S. 101) konstruirten Weingeistthermometers bediente. Ganz neu waren solche Bestrebungen freilich schon zu jener Zeit nicht mehr, denn nach R. Wolf [7] ist schon in einer noch handschriftlich vorhandenen Einsendung Lambert's an die Berner physikalische Gesellschaft vom Jahre 1768 davon die Rede, dass in verschiedenen Tiefen des Züricher-See's Temperaturmessungen vorgenommen worden seien. — So vollkommene Instrumente, wie ihrer die submarine Thermometrie bedarf, sind für lakustre Beobachtungen natürlich nicht gerade erforderlich. Die früheren Bemühungen, Thermometer für die Messung der Wärme des Wassers in geringeren Tiefen zu adjustiren, schildert C. Lang, der selbst ein Verfahren zu diesem Behufe angegeben hat [8]. Das Thermometer erscheint hier in einen Hohlcylinder aus starkem Messingblech eingesenkt, dem ein Rohr zum Schutze der Thermometerröhre aufgeschraubt ist. Das Innere des Cylinders kommunicirt nach aussen durch drei Kugelventile, die sich bei'm Heraufziehen schliessen. Damit die Versenkung bequem vor sich gehe, ist der Boden des Cylinders mit einer massiven Bleiplatte verschraubt, welche nur eine dem unteren entsprechende Oeffnung besitzt.

die Isothermfläche von 4° den wärmeren Innentheil von dem kälteren Strandwasser scheidet, womit vielleicht die eigenthümlichen glatten Uferstreifen mancher Seen, namentlich desjenigen von Neuchâtel, zusammenhängen. Die bayerischen Alpenseen hat Geistbeck [12] umsichtig in thermometrischer Hinsicht studirt*) und ist dabei darauf verfallen, alle Seen in kalte — mit geringen Variationsextremen der einzelnen Schichten und mit verzögertem Temperaturgange — und in warme zu trennen, welch' letztere also in den erwähnten Punkten sich gerade umgekehrt verhalten wie die kalten und sonst eine gleichmässigere Temperaturabnahme nach der Tiefe hin erkennen lassen**). — Hiemit in Verbindung steht Geistbeck's Eintheilung der Seen in eisfreie und eisbildende; zu den letzteren gehören die meisten kalten Seen, der Königssee jedoch nicht. Die Eisdecke bildet sich erst, wenn eine durchgreifende Abkühlung der Wassermasse bis auf 4° eingetreten ist; bis zum Grunde gefrieren einigermassen tiefe Wasserbecken niemals zu***). Man muss im Sinne Geistbeck's [14] dreierlei Eis auseinanderhalten, nämlich Küsteneis, pelagisches Eis, wofür wir doch lieber lakustres sagen möchten, und Treibeis. Die grösste Mächtigkeit gewinnt altes Ufereis; am Staffelsee ist solches von 20 bis 30, am Schlier- und Königssee solches von 30 bis 40, am Kochel- und Tegernsee von 40 bis 50 und am Ammer- und Chiemsee sogar von 50 bis 70 Centimeter Dicke nachgewiesen worden.

Untersuchungen über Tiefen- und Böschungsverhältnisse der Seen dankt man hauptsächlich Simony [15]. Seine Maximal-Tiefentabelle der Seen in den Ostalpen ist folgende:

Traunsee	191 m	St. Wolfg.-See	113 m	Krottensee . . .	44 m	Schwarzensee .	54 m
Königssee	188	Mondsee . . .	67	H. Gosau-See . .	43	V. Langbath-See	33.5
Achensee	181	Toplitzsee . .	106	Offensee	36	Zellersee i. S. .	30
Attersee	171	V. Gosau-See	68	Grundlsee . . .	64	H. Langbath-See	19
Hallst. See	125	Fuschlsee . .	65	Alt-Ausseeer See	55		

Dem reihen wir gleich nach Marinelli [16]†) noch einige auf andere Seen sich beziehende Zahlen an:

Baikalsee . .	1373 m	Lago di Garda	825 m	Zuger-See .	390 m	Genfer-See .	334 m
Kasp. Meer .	946	Lago di Como	588	Ladoga-See .	375	Oberer See	310
Lago maggiore	850	Todtes Meer	560	See von Albano	340	Michigan-See	300
						Lago d'Iseo	300

*) Wie wir hören, soll demnächst eine umfänglichere Arbeit des genannten Autors über den nämlichen Gegenstand erscheinen.

**) Ein besonders warmer See — Temperatur 31° — wäre der oben erwähnte See in Neu-Guinea. Auch die Seen Savoyen's gehören nach Forel zu den warmen.

***) Forel hat [13] die Eisverhältnisse der schweizerischen Seen untersucht und manch' Anomales dabei gefunden. Es frieren dort zu — oder können doch in kalten Jahren zugefrieren — gänzlich die allermeisten Seen, theilweise nur gefriert der Vierwaldstätter-See, ganz eisfrei bleiben Genfer-, Walen- und Bourget-See.

†) Dieses treffliche Werk, unter Leitung Marinelli's von einem Konsortium angesehener italienischer Fachmänner verfasst, erscheint in Lieferungen und konnte leider erst in diesen letzten Abschnitten unseres Buches eine Verwerthung finden, wie sie schon früher wünschenswerth gewesen wäre.

Die Seiten der Becken besitzen im Grossen und Ganzen dieselbe Böschung, wie die begrenzenden Ufer, jedoch sind Steilabfälle natürlich nicht ausgeschlossen. Besonders ist der Traunsee durch solche ausgezeichnet. Der Seegrund ist stets auf weite Strecken hin eben, doch giebt es auch Plateaux unter dem Wasser, welche einen See — z. B. den Attersee — durch eine Untiefe in zwei nur ganz oberflächlich mit einander Verbindung haltende Einzelbecken zerlegen.

Das Wasser der Seen ist gewöhnlich süss. Doch giebt es, von den eigentlichen Meeren völlig abgesehen, salzige Seen, aus deren Wasser die Chemie theils reines, theils auch durch salzsauren Kalk, Bittererde, schwefelsaures Natron, verunreinigtes Kochsalz ausscheidet. Die meisten dieser Seen enthält Asien — Kirgisensteppe, Elton-See bei Astrachan —, in Europa kommen diese Seen, da der Mansfelder See (S. 363) kaum mehr zu rechnen ist, wesentlich in Siebenbürgen vor [17]. In Ungarn giebt es, wie in Aegypten, Natronseen. Im irischen Lough-Near sollen so viele Eisentheilchen suspendirt sein, dass angeblich ein hineingeworfenes Stück Holz ganz von ihnen durchdrungen wird; vielleicht steht mit ähnlichen Eigenschaften mancher Seen auch die bekannte Sage in Verbindung, wonach dieselben keine Leichname mehr zurückgeben sollen. Wir werden auf die Verdunstung der Salzseen im nächsten Kapitel, anlässlich der Steppenbildung, wieder zu sprechen kommen.

Von je hat man sich viel mit den unterirdischen Zu- und Abflüssen der Binnenseen beschäftigt. Zuvörderst war es der Zirknitzer See in Krain (Band I, S. 28), welchen Hypothesenbildung sich zum Tummelplatze wählte, obwohl schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durch Steinberg [18] und Gruber [19] ganz zutreffende Aufschlüsse über den wirklichen Sachverhalt gegeben worden waren. Dieser See (der lugea palus der Römer und des Ariosto) ist ein gewöhnlicher Landsee, in welchem sich während regenreicher Jahre viel Wasser anzusammeln pflegt, während er in trockenen Jahren nahezu ganz eintrocknet. Allerdings scheint bei dieser Eintrocknung nicht blos die Verdunstung ihre Rolle zu spielen, sondern es müssen wohl auch die vielen, den Karstboden durchziehenden Risse und Klüfte als Abzugskanäle dienen *); von diesen ist die „Karlouza-Grotte“ nach Frischauf 474 m weit begangen und erforscht worden, ohne dass man das Ende des verzweigten Röhrensystemes erreicht hätte. Anderen Auffassungen zufolge meinte übrigens der römische Dichter das Moor von Laibach. Das Karstgebiet enthält auch andere Seen dieser Art; einer derselben findet sich z. B. auf der Insel Cherso**). Der Kopais-See in Böotien ist ebenfalls mit einem solchen natürlichen Drainage-System

---

*) Kant sprach die Ansicht aus [20], dass das Verschwinden und Wiedererscheinen dieses See's nach dem physikalischen Principe vom Heber sich richte, und dass eine unseren Augen entzogene Verbindung mit dem Meere keinesfalls angenommen werden dürfe.

**) Im „Ausland“ (1883, S. 919) stand die Notiz, dass im August jenes Jahres das Niveau eines der Schwarzseen am Triglav um 2 m in 9 Stunden gefallen sei. Obwohl der Triglav nicht mehr dem eigentlichen Karstterrain angehört, wird man doch auch an Hohlräume, die sich nach anderen Wasserläufen hin öffnen, zu denken geneigt sein.

versehen *). Nicht minder wird man dem Neusiedler-See bei Oedenburg ein solches zuerkennen müssen, da sonst der von dem Grafen Bela Sczechenyi [23] geschilderte Hergang der Ent- und Bewässerung nicht zu verstehen wäre. Seit 1854 nämlich begann dieser ziemlich ausgedehnte See zu schwinden, 1865 waren von ihm nur noch vereinzelte Reliktensümpfe vorhanden, und 1868 verzogen sich auch diese, allein schon das Jahr darauf waren wieder kleine Tümpel vorhanden, und seit 1876 bedeckt wieder eine schöne Wasserfläche nahe an 400 Quadratkilometer. Dagegen geht man wohl zu weit, wenn man mit A. Kircher [24] für alle Steppenseen, welche zwar Zufluss, aber keinen Abfluss haben — kaspisches Meer, Aral, Issikul, Balkasch, Lob Nor — das Vorhandensein unterirdischer Kanäle stipuliren wollte, die z. B. nach der Behauptung eines gewissen April Pflanzen aus dem kaspischen See bis in den persischen Golf hinausgeführt haben sollten [25]. Anders, wenn ein See, wie der Ybera-See in Südamerika, nachweislich Flüsse speist, starker Verdunstung unterliegt und durch Regenfall nicht den nöthigen Ersatz bekommt: da muss man wohl annehmen, dass die Mündungen einiger Zuflüsse unter dem Wasserspiegel gelegen sind. A. Boué glaubt [26], dass solche Ausflusslöcher — slavisch „Ponor" — in den Seen der Balkanhalbinsel etwas ganz gewöhnliches sind, und dass ihr Dasein sich stets durch einen besonders glatten Seespiegel verräth. Die Alten scheinen ferner den armenischen Wan-See noch nicht als solchen gekannt zu haben; sie sprechen von zwei durch einen Landriegel getrennten Seen Arsissa und Thospitis, die aber durch subterrane Spalten kommunicirt hätten, und Strecker hält es [27] gar nicht für unmöglich, dass der stets steigende und fast gänzlich der Entleerung entbehrende See allmählig die Brücke überschwemmt oder durchbrochen und so die Oberflächenverbindung zwischen beiden Seebecken hergestellt habe.

§. 2. **Genetische Klassifikation der Seen.** Die Versuche, die einzelnen Seen nach genetischen Merkmalen in Gruppen zusammenzustellen, sind verhältnissmässig neuen Datums. Wir sind in der Lage, neben den in engerem Kreise sich bewegenden Aufstellungen von Desor, Kohl und Rütimeyer fünf Seen-Systeme dieser Art anzuführen, die wir nunmehr in chronologischer Ordnung besprechen wollen.

a) **Peschel's System.** Das geistvolle dreizehnte Kapitel der Peschel'schen Morphologie, „Die Entwickelungsgeschichte der stehenden Wasser auf der Erde" überschrieben [28], enthält die Grundzüge dieser Eintheilung. Viele Seen sind hiernach sogenannte Reliktenseen, einstige Meerbusen oder Fjorde, welche durch partielle Landhebung vom Hauptkörper abgetrennt und nach und nach ausgesüsst wurden. Maassgebend für die Einreihung eines bestimmten See's in

*) Mit Ausnahme eines kleinen Bassins nächst der Insel Topolia verhält sich nach P. W. Forchhammer der Kopais ganz so, wie der Zirknitzer See [21]. Die Eingänge der natürlichen Abzugskanäle, deren Entstehung Forchhammer nach der Humboldt'schen Aufblähungstheorie (Band I, S. 357) erklärt, heissen auf griechisch „Katabothra". Gegenwärtig geht man daran, den sumpfartigen und im Sommer Fieberdünste aushauchenden See mit grossen Opfern vollständig auszutrocknen [22].

diese Kategorie war für Peschel die Existenz einer sogenannten Reliktenfauna. Das kaspische Meer, der Aral, der Baikal enthalten Arten, die sonst dem Meere eigenthümlich sind. „Alle grossen und geräumigen Seen Nordamerika's, am Südabhange der Alpen, in Schweden und Nordrussland, in Centralasien und Sibirien sind oceanischen Ursprungs" [29]. Schon bei der Eintheilung der Inseln ward der Gefahren gedacht, welche ein so einseitig biologisches Klassifikationsprincip mit sich bringt, und in diesem Falle verführt dasselbe gewiss zu ernstlichen Fehlern *). In eine zweite Kategorie stellt unser Gewährsmann die Einsturzseen, die Verwerfungs- und Faltungsseen, denen er z. B. die drei Seen der Jordan-Spalte zurechnet, die Kraterseen (Fuciner See, Lago di Nemi), die durch Gletschervorstoss oder Bergrutsche entstandenen Abdämmungsseen **) und die orographischen Seen, welcher Name besagt, „dass die Gestalt der Beckensohle unmittelbar oder mittelbar mit den Krümmungen ihres Schichtenbaues zusammenhänge" [31]. Zu diesen letzteren würden somit auch die Komben- und Klusenseen von Desor gehören.

b) **v. Sonklar's System.** Die Seen sind, wenn man nicht auf ihren Zu- und Abfluss als charakteristisches Element den Hauptnachdruck legen will ***), entweder Tiefland- oder Hochlandseen [32]. Ihrer Entstehungsart gemäss sind sie einzutheilen in Füllungsseen — durch Wasser überfluthete Depressionen —, in Spaltenseen (Pangang-See im Pendschab) — gefüllte Thalspalten, die durch ein von der Erosion erschlossenes Thor eventuell rasch entwässert werden —, in Abdämmungsseen und Eisseen.

c) **A. Boué's System.** Soweit wir dasselbe zu verstehen vermögen †), werden runde Seen — durch vulkanische Kataklysmen oder Ponor's (s. o.) entstanden —, rund-ovale, fast-ovale und Spaltenseen neben einander gestellt. Als ausgefüllte Thalspalten figuriren z. B. der Wetter-, Brienzer- und Comer-See.

d) **R. Credner's System.** Ganz strenge trifft diese Bezeichnung hier nicht zu, denn Credner's Kritik lässt eben das Voreilige und Unzureichende manches früheren Systematisirungsversuches erkennen, und die Aufstellung positiver Merkmale wird von Credner nur sehr

---

*) Bei'm Baikal-See, bezüglich dessen Peschel allerdings ganz in Humboldt's Fussstapfen trat, galt Ersterem das Vorkommen von Seehunden als ein ganz sicheres Kriterium der marinen Abstammung, und Dybowski's Nachweis eines pelagischen Baikalschwammes diente zur Bekräftigung. Allein neuerdings hat Czerski das Territorium zwischen Baikal und Eismeer genau geologisch durchforscht und erkannt, dass seit der Tertiärzeit jenes seine Grenzen nicht mehr verändert haben kann [30]. Nur waren ehedem die Ströme grösser und breiter, und die Seehunde können auf ihnen weit in's Land hinein gelangt sein.

**) Peschel's Vorschlag, diese Stauungsbecken Sonklar'sche Seen zu nennen, ist von dem Gefeierten selbst angenommen worden, kaum aber von anderer Seite.

***) v. Sonklar begründet hierauf (a. a. O.) noch eine besondere Eintheilung. Flussseen und Quellseen bilden die eine, Binnenseen, die speziell auch Steppenseen sein können, die andere Klasse.

†) Der Styl dieser Abhandlung [33], einer der letzten, die aus der Feder des fruchtbaren Autors geflossen sind, ist nicht selten so dunkel, dass man nur schwer die Verantwortung für eine völlig sinngetreue Wiedergabe des Inhaltes übernehmen kann.

vorsichtig angedeutet [34]*). Er begnügt sich, darauf hinzuweisen, dass viele Seen unter Wasser gesetzte Theile von Alpenthälern sind, in denen sich der durchziehende Wasserlauf aufstaute, dass ferner Niveauverschiebungen der Gebirgsmassen**), Faltungen der Schichten — Urner See —, endlich das Sinken einzelner Thalpartieen — oberitalienische Seen — eine stehende Wasseransammlung zuwege brachten [35].

e) **Davis' System.** Die feinste, ja manchmal vielleicht gar zu feine, Scheidung der einzelnen Seen nach naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten ist diejenige des Amerikaners Davis [36], dessen neue Kunstausdrücke Credner deutsch wiedergegeben hat. Orographische Strukturbecken können siebenerlei verschiedenen Ursachen ihre Entstehung verdanken, nämlich 1. der allseitigen Gebirgsumwallung, 2. der Bergfaltung, 3. der Schichtenverwerfung, 4. der ungleichmässigen Niveauveränderung in Thälern — wohl nur eine Konsequenz von 2 und 3 —, 5. den seismischen Einsenkungen, 6. dem Zusammensturz unterirdischer Lava-Räume, 7. dem Einbruch ausgelaugter Gips- und Kalklager. Erosive Destruktionsbecken können 1. durch Erosion der Gletscher (?), 2. durch Erosion des Windes, 3. durch auflösende Aktion des Wassers, 4. durch Explosion subterraner Gasansammlungen zu Stande kommen. Abdämmungsbecken können die allermannigfaltigsten Ursachen haben, ja es lassen sich dieselben sogar in zwei sehr verschiedene Unterabtheilungen sondern. Die Abdämmungsbecken im engeren Sinne („Barrier Bassins") können 1. durch Schuttkegel, 2. durch Gletschereis***), 3. durch End-

*) Die Vertheilung der eigentlichen Alpenseen, selbstständiger Wasserbecken, welche Krümmel durch die Bezeichnung Alpenweiher für kleine, zufällig entstandene Wassertümpel noch bestimmter charakterisiren möchte, ist nach Credner (a. a. O.) durchaus keine gleichförmige. Pyrenäen und Sierra Nevada, Karpathen, Kaukasus und Ural besitzen keine ächten, in den Fels eingegrabenen Wasserbecken, die Alleghanies sind ganz seenlos, die Anden wenigstens in ihren centralen Theilen. Hochasien besitzt im Himálaya wirkliche Alpenseen, auch der Baikal verdient völlig diesen Namen, am meisten jedoch ähnelt die Physiognomie der neuseeländischen Gebirgsseen der uns geläufigen. Peschel's Versuch, das Fehlen der Bergseen mit der Häufigkeit der atmosphärischen Niederschläge in Beziehung zu setzen, durch welch' letztere eine frühzeitige Verschüttung allenfalls vorhandener Mulden begünstigt werden sollte, ist, wie Credner ausführt, nicht geglückt. Skandinavien und Neuseeland haben reichlich Regen, und im araukanischen Theile der Cordilleren beginnen die Seen gerade da sich zu vermehren, wo das regenärmere subtropische Gebiet aufhört. Weder durch meteorologische, noch auch durch solche geologische Argumente, welche sich auf das Alter der Gebirge beziehen, und endlich auch nicht durch frühere Vereisungsperioden lässt sich die Art der Seenverbreitung genügend erklären.

**) Für die gleich einer Perlenschnur sich an einander reihenden Seen im südlichen Chile nimmt auch A. Kirchhoff, wie er in einer Besprechung des Credner'schen Vortrages erklärte, Niveauverschiebungen als Entstehungsgrund an. Der Westfuss der Cordilleren habe zuerst eine negative, und der Küstensaum habe nachher eine positive Niveauverschiebung erlitten.

***) Mit diesen Eisseen im engsten Wortsinne beschäftigt sich eingehend J. C. Beer [37]. Ihm zufolge giebt es in unseren Alpen nur vier, welche diese Bezeichnung wirklich verdienen, nämlich die Langthaler „Eislacke" bei Gurgl, den Weissen-See im Stubachthale, den Mattmark-See im Saaser-Thale und den Marjelen-See am Südabsturze der Berner Centralalpen. Häufig brechen diese Gletscherseen aus, und ihre frühere Stätte bleibt dann längere Zeit leer: so ist jener

moränen, 4. durch ungleichmässige Ablagerung glacialer Schottermassen*), 5. durch Lava-Ströme, 6. durch Sandbarren, Dünen und Nehrungen**), 7. durch Korallenriffe, 8. durch Sedimentablagerung der fliessenden Gewässer (Altwasser, „River Lagoons", „Ox-bows", „Aigues-mortes"), 9. durch Bergstürze, 10. durch thierische Kunstbauten sich bilden. In diesem Falle also legte sich fliessenden Gewässern irgend ein Hinderniss vor und staute dieselben auf; bei den Umwallungsbecken dagegen („Enclosure Bassins") war die den Binnensee bildende Wassermasse schon vorher in Ruhe. Hier erscheinen als morphologische Faktoren 1. Deltabildungen, 2. Sedimentanhäufungen, die durch säkuläre Hebung über der Wasserfläche des Meeres oder des schon bestehenden See's erscheinen („New Land Bassins"), 3. Kratermauern***), 4. ungleichförmige Anhäufung von Glacialschutt, 5. Emporwachsen von Lagunenriffen. — Desor's oben erwähnter Eintheilung wird von Davis, da Komben- wie Klusenseen nur durch die ausnagende Kraft des Wassers entstünden, höchstens ein gewisser physiographischer, jedoch kein genetischer Werth zugestanden, und in dieser Auffassung begegnet er sich mit Löwl †).

Im Ganzen ist das Studium der See-Charaktere ungemein erschwert durch den Umstand, dass auf diesem Gebiete die beste Karte noch weniger als in anderen Fällen einen Ersatz für mangelnde Autopsie

---

im oberen Oetzthale seit mehr denn 100 Jahren verschwunden. — Bei unserer Begriffsbestimmung des Eissee's als eines durch Gletschereis gebildeten Abdämmungssee's im Sinne von Davis dürfte wohl E. Richter's Einwand gegen die Hereinziehung des Mattmark-See's viel an Gewicht verlieren; gegen v. Sonklar bleibt derselbe bestehen.

*) Nummer 3 und 4 tragen das gemeinsame Gepräge der Moränenseen, über welche eine Monographie von Lüdecke vorliegt [38]. Es wird dort gezeigt, dass die uns bereits bekannte Moränenlandschaft stets sehr günstige Vorbedingungen zur Entstehung kleinerer Wasserbehälter darbietet, wenigstens so lange, bis auch die Erosion in ihr Recht tritt. Allein Lüdecke hat zu rasch verallgemeinert und sich mit den Thatsachen zum öfteren in Widerspruch gesetzt. So weist ihm E. Richter nach [39], dass der Mattmark-See durchaus nicht die Merkmale eines Moränensee's an sich trage, und Penck wirft ihm vor [40], als Moränenseen die verschiedenartigsten Gebilde zusammengefasst zu haben, ohne einen Beweis für deren Zusammengehörigkeit zu versuchen. Penck's eigene Definition der bayerischen Alpenseen (a. a. O.) ist musterhaft. Der Eibsee ist ihm zufolge ein Einsturzsee, der Walchensee ist ein Erosionssee [41], der Achensee ein Abdämmungssee, und auch der Alpsee bei Immenstadt scheint durch eine Geröllablagerung aufgestaut zu sein [42]. Hochst wichtig erscheinen uns ferner Penck's Erörterungen über den ephemeren Charakter der durch die Erosion in dem Glacialschotter eingegrabenen Seebecken [43], während wir, wie schon bemerkt, seiner Theorie einer rein-glacialen Seebildung nicht ebenso beipflichten können. Am meisten würde uns noch die von Taramelli [44] und Stoppani [45] vertheidigte Ansicht zusagen, durch welche dem Gletschereise wesentlich nur die Rolle eines Konservators der schon vorher vorhandenen Thalfurchen und Thalbecken zuertheilt wird.

**) Diesen Gegenstand betrachten wir als unserer siebenten Abtheilung angehörig.

***) Der von den alten Schriftstellern viel erwähnte Palikensee bei Calatagira in Sicilien, mit dessen Geschichte und Naturbeschaffenheit E. Krause uns bekannt macht [46], mag als Typus dieser Varietät gelten.

†) „Wird dieser See," meint Löwl [47], „als Mulden-, jener als Kombensee angeführt, so erfährt man eben nur, dass der eine in einem synklinen, der andere in einem antiklinen Thale liegt; wie aber ihre Becken in der Thalsohle entstanden, wird damit keineswegs erklärt."

gewähren kann *). Wir erinnern in dieser Hinsicht an die mahnenden Worte v. Zittel's auf dem zweiten deutschen Geographentage.

§. 3. **Sümpfe und Moore.** Den einzigen uns bekannten Versuch, auch dieses Kapitel als ein selbstständiges und anderen Abschnitten der physikalischen Geographie koordinirtes zu behandeln, hat Muncke gemacht [49], und an seine Darstellung soll sich deshalb auch die unsrige anlehnen. Ein Sumpf oder Morast, bei etwas festerem Gefüge Bruch genannt, franz. „Marais", engl. „March", bedeutet eine in einer Niederung angesammelte Wassermasse, die jedoch keinen eigentlichen See bildet, sondern — ganz oder theilweise — von einer durch zahllose verfilzte Pflanzenwurzeln zusammengehaltenen Erdkruste bedeckt wird. Je niedriger die Breite, je energischer unter sonst gleichen Umständen die Verdunstung ist, um so seltener werden die Sümpfe. Zu den bekannteren Sümpfen gehört der Macquarie-Sumpf in Australien und das verzweigte Gebiet der pontinischen Sümpfe in Latium **), sowie der bekannte Cedernsumpf des Inneren von Florida. Der nördliche Theil der westsibirischen Tiefebene ist erfüllt von den sogenannten Tundren, „in denen der flache, versumpfte Boden zu einem grossen, im Sommer mit unzähligen Wasservögeln bedeckten Moraste wird, welcher sich längs der Küsten des Eismeeres in einer Breite von 400 bis 800 km bis zur Tschuktschen-Halbinsel fortsetzt" [50] ***). Eine höchst eigenartige Spielart der Moräste findet sich nach Livingstone im östlichen Afrika. Rings um den Tankanijka-See breitet sich, wie Kiepert ausführt [54], überall eine baumlose, sumpfige Ebene aus; die ganze Mulde ist mit Feuchtigkeit gesättigt und ringsherum sind diejenigen Gebilde gelagert, welche Livingstone als Erdschwämme bezeichnet. Es sind diess $^1/_2$ bis 2 km breite und 4 bis 20 km lange Wasserreservoirs, die allenthalben da vorkommen, wo eine Ebene sich gegen einen Spalt zwischen Bergen abdacht †).

---

*) Nicht ohne Grund hat man sich scharf gegen Peschel's Bevorzugung des Landkartenstudiums gewendet. Dass dasselbe einen so scharfsinnigen Beobachter jedoch auch zu überraschend richtigen Schlüssen leiten konnte, beweisen seine Bemerkungen über den Abfluss der finnischen Seen in geologischer Zukunft, denn nach Modeen [48] ist dieser Process jetzt bereits im Gange.

**) Diese Sümpfe sollen damals, als die das Land bewohnenden Volsker noch ein selbstständiges Volk waren, noch nicht existirt haben, doch ist diese Angabe nicht recht glaublich, denn schon um 134 v. Chr. begann urkundlich Cornelius Cethegus mit ihrer Austrocknung. Auch unter den römischen Kaisern, selbst unter den Ostgothenherrschern, ward mit diesem Werke fortgefahren, allein erst Papst Pius VI. schränkte den Bereich der Sümpfe wirklich ein. Immerhin sind die von dort ausströmenden Miasmen als „aria cattiva" im Hochsommer in Rom noch jetzt nur zu sehr bemerklich.

***) v. Middendorff, dem wir für die Erforschung der Tundrenregion in erster Linie zu Dank verpflichtet sind, macht — wir citiren hier nach H. J. Klein [51] — darauf aufmerksam, dass „Tundra" nicht eine Bodenform, sondern eine Vegetationsform bezeichne. Deshalb sind in den Tundren alle denkbaren Arten von Sümpfen und Mooren, mit Ausnahme der eigentlichen Bebemoore, zu finden. Allgemeiner noch fasst Kjellman den Begriff, „nämlich als die nördlich der Baumgrenze gelegenen welligen Tiefländer oder baumlosen Hochebenen, vom Aussehen bald wie Sumpfmoore, bald wie feuchte Steppen" [52]. Die Gebrüder Krause unterscheiden ausdrücklich eine Moos-Tundra und eine Stein-Tundra [53].

†) Die Erklärung ist nicht schwierig. In der heissen Zeit erleidet der Boden eine starke Austrocknung und wird brüchig. Sobald nun in der Regenzeit

Ein Morast, dessen Oberflächenbestandtheile bereits eine hinlängliche Konsistenz angenommen haben, um ein Einsinken des Darüberhinschreitenden zu verhindern, wird Moor genannt. Den Uebergang von den eigentlichen Sümpfen zu den Mooren bilden die Bebemoore, welche nach Marinelli [55] im Schriftitalienischen „praterie tremanti", in Brasilien „tremendal", auf Cuba „trembladeros", in Irland „shaking bogs", in den toskanischen Maremmen „pollini" heissen. Eines der grössten wirklichen Moore ist das wallonische von Eupen und Malmédy'; sehr reich an Mooren ist Holland, und von dort aus ziehen sich grosse Moorstrecken längs der Nord- und Ostseeküsten bis tief in's Russische hinein. Der schädlichen Sitte des Moorbrennens ward bereits früher gedacht (S. 72). Bekannt sind die Moorgegenden des schwäbisch-bayrischen Alpenvorlandes, in welchem das Wort Moor durch „Moos" ersetzt ist (Weilheimer Moos, Dachauer Moos, Erdinger Moos, vor Allem das jetzt grossentheils ausgetrocknete und urbar gemachte Donau-Moos). Den Charakter der Moore der nordwestdeutschen Tiefebene beschreibt sehr eingehend, gestützt auf frühere Arbeiten von Hunäus [56] und Grisebach [57], ein Aufsatz von Salfeld [58]. Ihm zufolge sind drei Hauptgattungen zu unterscheiden: Wiesen- und Grünlandmoore, Dargmoore, die sich durch eine Ueberwucherung rohrartiger Gewächse auszeichnen, und Hochmoore, die meist konvex gewölbt sind. Virchow lehrt das Alter der Dargmoore danach zu bestimmen [59], ob in ihnen auch Baumreste vorkommen, oder ob sie aus reinem Schilfe bestehen. Die eingehendste klassifikatorische Arbeit über Moore verdankt man zweifellos in neuerer Zeit Jentzsch [60], dessen Resultate hier freilich nur eine summarische Erwähnung finden können*).

Moor- und Sumpfgegenden liefern zwei verschiedene Arten von Brennmaterial. In den untersten Schichten kommen ab und zu, wie eben erwähnt, Baumstümpfe vor, die wohl zum grössten Theile an ihrem Fundorte gewachsen sind. Weit wichtiger ist der Stoff, aus welchem die oberen Lagen der Moore zusammengesetzt sind, der sogenannte Torf. Derselbe ist stets eine neuere Bildung, vorwiegend an den mehr wässrigen Stellen entstanden, und bildet sich, wenn einmal oberflächlich fortgenommen, stets wieder von Neuem. Torf besteht aus Wurzeln, Fasern, Blättern und Moos (Sphagnum), ist meist braun gefärbt und, ähnlich der lockeren Braunkohle, von Erdpech durchdrungen. Seepflanzen kommen auch in solchen Torfmooren nicht vor, welche unter den Meeresspiegel hinabreichen. Die grössten Torflager besitzt in Europa Frankreich (bei Abbeville und Essonne). — Die älteste und für ihre Zeit ganz achtbare Theorie der Torfbildung

die Niederschläge fallen, saugt sich der Boden voll und wird zum Moraste, ohne dass mehr als ein kleiner Bach durch die erwähnte Spalte abfliessen könnte. Zuletzt ist der „Schwamm" so von meteorischem Wasser vollgesogen, dass er gar keines mehr in sich aufnehmen kann, und dann treten Flüsse und Seen über ihre Ufer. Einer dieser Erdschwämme soll die Höhe von 1200 m erreichen.

*) Es sind acht verschiedene Typen, die Jentzsch für Preussen zu unterscheiden für nöthig hält, je nachdem die Moore mit dem Grundwasserstande kommuniciren oder offene Wasserflächen — „Blänken" — in sich enthalten, oder in Flussthälern liegen, wie die eigentlichen Gründlandmore, u. s. w. Weiter südlich, im Masurischen, finden die Moore sich seltener, weil das dortige Kalkwasser dem Torfmoos ungünstige Bedingungen des Fortkommens bietet [61].

rührt von Dau her [62]; später ist dieser Gegenstand wieder von A. v. Chamisso [63] vorgenommen worden, der auf das Vorkommen von schwimmendem Torf hinwies. Die neuesten und zunächst wohl abschliessenden Untersuchungen von Früh [64] gravitiren besonders nach der rein botanischen Seite hin*); dieselben stimmen gut zu den Ermittelungen Clessin's [65].

Für die Geographie als solche ist die Entstehung der Torfmoore schon um deswillen von Bedeutung, weil so mancher kleinere See, dessen ältere Berichte Erwähnung thun, seitdem dem Vertorfungsprocesse anheimgefallen ist. Dahin gehört z. B. der Fichtelsee, der angebliche Quellsee der vier auf dem Fichtelgebirge entspringenden Flüsse. Jedoch auch für erdphysikalische Fragen kommen die Torfmoore mehrfach in Betracht**).

§. 4. **Quellen.** Im Alterthum war eine allgemein anerkannte Theorie der Quellenbildung nicht vorhanden. Schon Aristoteles kennt verschiedene Hypothesen, neigt aber für seine Person der Ansicht zu, dass die Berge anziehend auf das atmosphärische Wasser wirkten, dass sich dieses so in Höhlen ansammle und aus diesen dann hervorbreche [69]. Auf dem gleichen Standpunkte stehen auch andere antike Schriftsteller, aber Seneca glaubte auch den innerhalb der Erde schon vorhandenen Wassermassen eine um so höhere Bedeutung zuschreiben zu müssen, als seiner Auffassung nach das Regenwasser nicht in grössere Tiefen einsickern kann; in diesen unterirdischen Wasserkammern war für neue Füllung theils durch Zufluss vom Meere her, theils durch die von

---

*) Auf Grund geologischer und mikroskopischer Forschung gelangt Früh zu nachstehenden Thesen: I. Marine Torfbildungen giebt es nicht; II. das Auftreten des Sphagnum genannten Mooses bedingt, wenn es als Massenvegetation erscheint, die gewöhnliche Hochmoorbildung; III. das Gedeihen des Sphagnums hängt nur wenig von der Beschaffenheit des Untergrundes, um so mehr aber, was ja auch Jentzsch (s. o.) fand, davon ab, dass das Nährwasser nicht zu hart ist; IV. viele Hochmoore ruhen auf Rasenmooren; V. diese letzteren bilden sogar in vielen Fällen den Ausgangspunkt der Hochmoorbildung; VI. Algentorf ward noch nicht beobachtet; VII. der von Schrötter und Doppler entdeckte Dopplerit ist kein Erdharz, sondern ein langsam und homogen gebildetes Produkt der Vertorfung.

**) Ausgehend von dem durch De Candolle und Rennie in seinen Anfängen skizzirten Gedanken, dass Ort und Art der in einem Moore aufgefundenen Pflanzen auf den Zustand des Klima's der Wachsthumszeit jener Pflanzen einen Rückschluss gestatte, hat Blytt, wie oben (S. 287) bemerkt ward, eine regelmässige Aufeinanderfolge von kontinentalen und insularen Klimaten für Norwegen konstatiren zu können geglaubt [66]. Nachdem Cl. König schon vorher durch eine eingehende Schilderung des floristischen Charakters Norwegens jene Lehre zu entkräften versucht hatte [67], trat er in mehreren, durch Blytt's Entgegnung unterbrochenen und veranlassten Noten gerade den aus den Torfmooren hergeleiteten Gründen näher [68]. König legt den Schwerpunkt seiner Polemik in den Umstand, dass das Lokalkolorit bei Betrachtungen über die Genese eines bestimmten Torfmoores durchaus nicht vernachlässigt werden dürfe, und allerdings haben Salfeld's und Jentzsch's Forschungen (s. o.) keinen Zweifel darüber gelassen, dass unter recht ähnlichen Verhältnissen sehr verschiedene Torfmoorgattungen möglich sind. An der Trockenlegung der Moore war schon an sich eine so erhebliche Reihe verschiedener Faktoren betheiligt, dass bestenfalls der wechselnde klimatische Einfluss gar nicht klar zur Geltung kommen konnte. Auch ist es unzulässig, auf die eingeschlossenen Pflanzenreste eine genaue Chronologie begründen zu wollen, da die Wachsthumsverhältnisse der Moore nur wenig ergründet sind.

Seneca warm befürwortete Umwandlung des einen Elementes in das andere stets gesorgt [70]. Was er mehr nur andeutete, bildete Lucretius [71] zu einer förmlichen Theorie aus, welcher zufolge ein wahrer Kreislauf zwischen Meer und Quellwasser bestehen sollte. Dass das Mittelalter (S. 395 des ersten Bandes) unverbrüchlich an dieser „Schwammtheorie" festhielt, ist bekannt; sehr lehrreich sind in dieser Hinsicht die Ueberschriften, welche Ristoro der Aretiner dem fünften [72] und siebenten [73] Kapitel seines sechsten Buches verliehen hat („Della cagione perch' egli fu mestieri che l'acqua che corre per la terra vegna dal mare e torni nel mare"; „Della cagione come l'acqua sale nelli monti, e della cagione perchè ella vi sale"). — Und doch hatte schon ein anderer, aber freilich nur mehr in engeren Fachkreisen gelesener Römer, der gelehrte Baumeister Vitruvius, eine im Wesentlichen ganz korrekte Ansicht über Entstehung der Quellen verlautbart [74], der Hauptsache nach die gleiche, welche jetzt den Namen Mariotte's trägt, und auf welche gleich nachher, wenn erst der Begriff der Quelle näher festgestellt sein wird, näher eingegangen werden soll. Als kompendiarische Darstellung der Quellenkunde ist neben dem auch hier wieder literarisch sehr verdienstlichen Lexikon-Artikel Muncke's [75] besonders das Werk von Lersch zu nennen [76], welches in der That eine Fülle nützlicher Materialien, vorwiegend allerdings nach balneotherapeutischen Gesichtspunkten geordnet, in sich vereinigt. Präcise Definitionen, wie sie bei ihm die Regel bilden, hat v. Sonklar [77] gegeben, dem wir in diesem Punkte auch hauptsächlich folgen.

Unter einer Quelle („fons", „source", „spring", „fountain") verstehen wir demgemäss jeden spontanen, d. h. nicht durch Zuthun des Menschen bewirkten Hervortritt der unter der Erdoberfläche cirkulirenden Gewässer an das Tageslicht. Künstlich eröffnete Quellen nennen wir zum Unterschiede Brunnen. Jenes Wasser, welches in der Nähe von Flüssen und stehenden Wassern den Boden nach dem Gesetze der kommunicirenden Röhren oft auf weite Entfernungen durchdringt, ferner jenes, welches in Diluvial- und Alluvialgegenden durch Einsickern der meteorischen, fliessenden und stehenden Gewässer in das Erdreich sich im Boden ansammelt, heisst Grundwasser*); tritt es irgendwo unter

*) Auf die Wichtigkeit des Grundwassers als geophysikalischen Faktors ist unser Augenmerk insbesondere durch die seuchengeschichtlichen Forschungen v. Pettenkofer's gerichtet worden, welchen zufolge ein hoher Grundwasserstand dem Auftreten gewisser Epidemieen sich günstig erweisen soll. Aerzte haben zwar vielfach Zweifel über das Bestehen eines solchen Zusammenhanges geäussert, allein Seidel's unwiderlegliche Kontrole an der Hand der Wahrscheinlichkeitsrechnung [78] hat ihn zu dem Facit geführt: „Unzweifelhafte Spuren eines Konnexes sind vorhanden." Beobachtungen über die sehr starke Jahresschwankung des Grundwasserstandes, welche in einer sehr vertrauenswerthen sechzehnjährigen Messungsreihe bis auf 220 cm stieg, theilt Liznar mit [79]. Für die Verhältnisse des Grundwassers in Gebirgsthälern formulirt v. Sonklar [80] zehn Sätze: I. Das Grundwasser rührt fast ausschliesslich von den hindurch strömenden Flüssen her; II. dieses Grundwasser liegt stets tiefer als der Flussspiegel; III. je weiter vom Flusse entfernt, um so tiefer fällt das Niveau des Grundwassers; IV. der geometrische Ort der Grundwasserstände ist keine ebene, sondern eine nach der Neigung der Thalsohle sanft sich krümmende Fläche; V. Schwemm- und Schuttkegel, dem Thalgrunde aufgelagert, stören den Verlauf des Grundwassers gar nicht; VI. vom Hauptgrundwasser kann sehr wohl durch eine undurchlässige

stärkerem hydrostatischem Drucke hervor, so spricht man von Seihwasser oder aufquellendem Wasser. Nach ihrem Ertrage und nach der Art ihres Ausflusses kann die Quelle stark oder schwach, beständig oder intermittirend sein. Unter gewissen Umständen tritt aus dem Quellenloche gleich ein starker Bach hervor, so namentlich bei der durch Petrarca's Dichtungen bekannt gewordenen Quelle von Vaucluse, die nach Lersch [84] jährlich 450 000 000 bis 680 000 000 Kilogramm Wasser liefert. Schubring berichtet uns [85], dass man verschiedene Vorschläge für die Bezeichnung solch' ungewöhnlich wasserreicher Quellen, eigentlicher Quellbäche oder Quellflüsse gemacht habe; Fournet's „Sources vauclusiennes" drangen nicht durch, vielmehr zog man Desor's Bezeichnung „Doues", weil längst schon in örtlicher Anwendung stehend (Doue de Neuveville, de Douane, de Doire), jener Neubildung vor. v. Sonklar rechnet [86] zu den Doues auch die Timavoquelle bei Triest und die Laibachquelle bei Oberlaibach, und es ist auch diese Klassificirung insofern ganz berechtigt, als Timavo und Laibach gleich vom Ursprunge an schiffbar sind, allein beide Flüsse sind doch nur Fortsetzungen von Wasserläufen, welche vorher im Karstgebirge verschwunden waren.

Dass das Grundwasser bei der Speisung mancher Quellen mit betheiligt ist, darf wohl nicht angezweifelt werden. In der Hauptsache aber liefert das Material zu den Quellen das atmosphärische Wasser, welches in die Risse des Bodens einsickert, kleine Behälter im Inneren bildet und sich schliesslich, wenn ihm der Weg in die Tiefe versperrt ist, auf dem den geringsten Widerstand bietenden Wege den Ausgang in's Freie bahnt. Diess eben ist die von Mariotte aufgestellte und durch recht scharfsinnige Versuche gestützte Quellenlehre [87]; die Gesammtheit der zahlreichen Wasseradern, welche zusammenwirken müssen, um eine namhafte Quelle zu liefern, nennt v. Sonklar (a. a. O.) deren Wurzelsystem. Man unterscheidet [88] bezüglich der gewöhnlichen Quellen, bei welchen das Wasser seiner Oeffnung horizontal oder schon mit einer gewissen Depression gegen den Horizont entströmt, und

---

Schicht ein vom seitlichen Gebirge herkommender, höher stehender Grundwasserlauf geschieden sein; VII. die Bewegung des Grundwassers richtet sich nicht nach den Flusskrümmungen, sondern allein nach dem geradlinigen Zuge des Thales; VIII. seitliche Nebenflüsse scheinen selbst kein Grundwasser zu führen; IX. die Vertikalbewegung des Grundwassers korrespondirt genau mit den Hebungen und Senkungen des Flusswassers; X. die Variationen der Brunnen-Wasserstände sind geringer, als die der Fluss-Wasserstände. — Die Fragen über die Füllung und Entleerung von Grundwasseransammlungen hat Lueger in einer für die Aetiologie der Krankheiten beachtenswerthen Weise der mathematischen Behandlung unterzogen [81]. Für den Techniker interessant aber ist die klare Darlegung aller Beziehungen, welche zwischen dem Grundwasserstande und den Bedingungen der Wasserzufuhr für Städte obwalten, wie man sie in zahlreichen Abhandlungen Thiem's, sämmtlich abgedruckt in der „Zeitschrift für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung", kennen lernen kann. „Soll die Bestimmung der Reichhaltigkeit des Untergrundes an Wasser," so spricht sich Thiem in seiner Schrift über die Nürnberger Quellenleitung aus [82], „systematisch und methodisch erfolgen, so hat die Untersuchung die Grösse der einzig und allein maassgebenden drei Faktoren festzustellen: Grösse des Gefälles des Grundwasserstandes, Mächtigkeit der wasserführenden Schicht und Durchlässigkeit des Untergrundes." Die Gleichung der Depressionskurve, eines bestimmten Durchschnittes jener Senkungsfläche v. Sonklar's (s. o.), ward von Darci und Thiem entwickelt [83].

welche deswegen auch absteigende Quellen heissen, Schichtquellen, Ueberfallsquellen und Spaltquellen. Bei den ersteren trifft das einsickernde Meteorwasser auf eine geneigte, porenlose Schicht und gleitet an deren Oberfläche hinab, bei der zweiten Gattung sammelt es sich zwischen der porösen und der undurchlässigen Schicht in einer Mulde, welche, wenn überfüllt, ihre Flüssigkeit nach allen Seiten abströmen lässt, und bei der dritten Gattung, die den Kalkgebirgen eigenthümlich ist, reicht eine entleerende Spalte bis zum Sammelbecken hinunter.

Mariotte's Hypothese ward von Perrault und De la Hire bekämpft, aber auch die alte Doktrin des Lucretius kam wieder zu Ehren. Descartes, Woodward, Kircher, Kühn u. a. wärmten direkt die alte Kanaltheorie wieder auf und übertrugen zugleich den unterirdischen Gängen das Amt von Destillatoren, welche das Seesalz zurückbehielten, während Varenius und Derham in etwas verfeinerter Auffassung die Kapillaritätswirkung der Bodenspalten zu Hülfe nahmen [89]. Die allgemeinere Anerkennung der meteorischen Quellenlehre durchgesetzt zu haben, muss als ein Verdienst De la Métherie's gelten [90]*). Lange Jahre hindurch war ihre Herrschaft eine fast unbestrittene, und auch heute wieder kann sie als eine um so fester begründete gelten, weil ein sehr heftiger Angriff gegen ihre Grundlagen sich nicht als vermögend zur Erschütterung derselben erwiesen hat**).

Es geht aus dem Gesagten hervor, dass das Zustandekommen einer wirklichen Quelle von den verschiedensten physikalischen und geognostischen Momenten abhängt. Die Besonderheit der Schichtenstellung eines Erhebungsthales kann, wie es z. B. für einzelne Theile des Neckarthales der Fall ist, gänzlichen Quellenmangel zur Folge haben [98]. Jene geologischen Formationen, deren Gestein ein lücken-

*) Weniger bekannt, aber für ihre Zeit geradezu mustergültig sind die Erörterungen von J. Vossius über das Quellenphänomen. Nachdem er sich energisch gegen Jene verwahrt hat, welche die Flüsse ihre Nahrung aus ungeheuren subterranen Wasserbecken ziehen lassen, stellt er an die Spitze seines fünften Kapitels [91] die Behauptung: „Omnia flumina ex collectione aquae pluvialis oriri.“ Dieser gut vertheidigte Satz ermöglicht es ihm sodann auch, eine passende Antwort auf die von ihm selbst [92] aufgeworfene Frage zu ertheilen: „Unde fiat, ut plures in montibus quam in locis planis inveniantur fontes?“ Man möchte fast im Zweifel darüber sein, ob, da die betreffende Schrift des fränzösischen Physikers erst 1686 herauskam, Mariotte's Quellentheorie nicht füglich die des Vossius heissen sollte.

**) Wir haben hier die von Volger [93] aufgestellte und von dem phantasiereichen Geologen Mohr [94] weiter ausgeführte neue Theorie der Quellenentstehung vor Augen, zu welcher Sonntag und Jarz eine längere, hauptsächlich auf die Infiltrationsfähigkeit von Sand- und Thonschichten Bezug nehmende Versuchsreihe geliefert haben [95]. Hiernach würde als Wahrheit zu gelten haben: Kaum minimale Quantitäten des Quellwassers stammen von eingedrungenem Regen her; alles Grund- und Quellwasser entsteht aus der Verdichtung des Wassergases, welches in der vom Erdboden aufgesaugten Luft enthalten ist. Gegen diese Neuerung ist Hann in zwei inhaltsreichen Abhandlungen aufgetreten [96], in denen er z. B. darthat, dass in Wien während eines ganzen Monates für eine Bodenschicht von 30 m Tiefe der Luftwechsel blos den winzigen Betrag von 3 Kubikmetern hatte, und auch Wollny lieferte [97] eine detaillirte Kritik der Volger'schen Lehre, in der u. a. bewiesen wird, dass Volger die im Boden verschwundene Oberflächenfeuchtigkeit irrthümlich als der Aussenseite durch Verdunstung entzogen angenommen hatte.

haftes ist, begünstigen das Vorkommen von Quellen [99], und indem Metalladern eben nur in solch' wenig kompaktem Fels vorkommen, hatte Vitruv wohl nicht Unrecht mit seinem Prognostikon, dass nahe bei Metallbergwerken auf zahlreiche, wenn auch freilich kein gutes Trinkwasser liefernde Quellen zu rechnen sei [100]. Höher als 3300 m über dem Meere sind Quellen noch nicht nachgewiesen worden [101]; die Ausbruchsöffnung senkt sich nicht selten im Verlaufe der Zeiten. Der hydrostatische Zusammenhang der verschiedenen Adern einer bestimmten Quelle unter sich und mit anderen Wasserklüften ist durch zahlreiche Beispiele sicher gestellt [102]; so hängen z. B. die Aachener Thermen bei aller Verschiedenheit in Wärme und chemischer Zusammensetzung und trotz grosser Distanzen ihrer Ausbruchsstellen in der Tiefe enge zusammen. Minder Sicheres weiss man von der Kommunikation einzelner Quellen mit dem Meereswasser; von einzelnen ist allerdings behauptet worden, dass sie Ebbe und Fluth des Meeres in ihren Schwankungen reproducirten*), und auch die gleich nachher zu besprechenden „Meermühlen" machen eine solche Verbindung überaus wahrscheinlich. Bei den Arbeiten zur Fassung der Vöslauer Quelle blieben alle Bäche der Umgegend aus [105]. Auch darf hier an das im I. Bande (S. 381) besprochene Versiegen gewisser Quellen in Folge von Erdstössen erinnert werden. Wohl die merkwürdigste Entdeckung, welche auf diesem Gebiete gemacht ward, ist jedoch diejenige von Knop [106], der durch Einschütten von Farbstoffen den unbestreitbaren Nachweis dafür erbrachte, dass aus einer der Donauquellen im badischen Schwarzwald zugleich auch die Quelle der in den Rhein fliessenden Aach — mitunter ausschliesslich, in regenreicheren Jahren jedoch nur theilweise — gespeist wird**).

Im Wesentlichen war bislang nur von den absteigenden Quellen die Rede. Es giebt aber auch aufsteigende Quellen, bei denen die Ausströmungsrichtung eine gewisse, bis zu 90° steigende Elevation gegen den Horizont besitzt. Auch für ihre Erklärung genügt der Hinweis auf den hydrostatischen Druck, durch welchen die Gebirgsfeuchtigkeit an einer besonders geeigneten Stelle unter den zahllosen das Gestein durchsetzenden Rinnen zum Emporsteigen gebracht wird.

Freilich aber ward bisher die Lehre von den Quellen nur ganz generell, ja, wenn man will, sogar schematisch behandelt. Geht man auf's Einzelne ein, so tritt bei den Quellen sowohl hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit, bezüglich deren wir für nähere Kenntniss auf einen Aufsatz von Leuze [107] verweisen, als auch hinsichtlich ihrer Temperatur***) und hinsichtlich der physikalischen Gesetze ihres

---

*) So sagt beispielsweise Plinius [103]: „Contra Timavum amnem insula parva in mari est cum fontibus calidis, qui pariter cum aestu maris crescunt minuuntque." Und Leipoldt berichtet [104], theilweise nach Reclus, dass man solche Niveauoscillationen der Brunnen bei Wasa in Finnland, bei Royan an der Gironde, auf mehreren Bahama-Inseln, auf Sylt und auf Föhr beobachtet habe.

**) Es wäre vielleicht angezeigt, Diejenigen, welche noch immer an der Abstammung des bekannten Gollinger Wasserfalles von dem „Kuchler Loch" im Königssee festhalten, durch einen unschwer anzustellenden Versuch im Sinne Knop's zu widerlegen.

***) Sehr umfängliche Materialien zur Kenntniss der Quellentemperaturen hat Kämtz gesammelt [108], hauptsächlich um daraus Schlüsse auf den Verlauf der Isogeothermen ziehen zu können. Kämtz's Ansicht, dass Quellen jenseits der Isogeo-

Ausflusses eine so grosse Verschiedenheit zu Tage, dass uns nur übrig bleibt, den einzelnen hervorstechenden Formen auch je einen besonderen Abschnitt anzuweisen *).

a) **Mineralquellen.** Je nach dem Reichthum an Salzen und sonstigen Mineralstoffen, der sich in einer gewissen Quelle befindet, kann das Trinken derselben oder das Baden in ihrem Wasser dem erkrankten oder geschwächten menschlichen Organismus sich nützlich erweisen. Nicht die Geophysik, sondern eine besondere medicinische Disciplin, die Balneotherapie, hat sich mit dem Studium und der Verwendung dieser Heilwässer zu befassen, und jeder ärztliche Kalender gewährt denn auch eine Uebersicht über die sanitären Kräfte der Quellen eines jeden Kurortes. Im Ganzen sind zu beachten [113] die mit Kohlensäure mehr oder weniger geschwängerten Säuerlinge, von denen die Eisensäuerlinge eine durch Eisen und Alkalien ausgezeichnete Abart bilden, die relativ seltenen Kochsalzthermen, die Alaun- und Natronquellen, die Bitter- und Glaubersalzquellen, die Schwefel- und Salpetersprudel, die Jod- und Bromquellen, die Naphthaquellen, deren bereits in dem vom Vulkanismus handelnden Kapitel Erwähnung gethan ward, und jene inkrustirenden oder versteinernden Quellen, deren Wasser kieselhaltigen Kalksinter absetzt. Der bekannte, zu allerlei Schmuckgeräthschaften verarbeitete Sprudelstein von Karlsbad hat schon vor 100 Jahren in Uebelacker einen Monographen gefunden [114]. Die schon von den Alten gehegte Meinung, dass tief hinabsteigende Quellen dem Gesteine einzelne seiner Bestandtheile entzögen und sich mit diesen sättigten, muss als zutreffend anerkannt werden, zumal seitdem es Struve gelang, seine bekannten künstlichen Mineralwässer chemisch durch Zerlegung gewisser Gebirgsbestandtheile herzustellen [115]. Natürlich ist diese chemische Erosion, durch welche nach G. Bischof's bezeichnendem Ausdruck Quellen entstehen, kein einfacher Zerstörungsprocess; die Aktion der Kohlensäure, deren Bedeutung erst durch den genannten Forscher erkannt ward, spielt dabei eine sehr wichtige und in ihren Besonderheiten noch

---

therme von 0° nicht mehr vorkämen, lässt sich heute nicht mehr aufrecht erhalten. Uns persönlich scheinen z. B. nach den von Klutschak gegebenen Beschreibungen und Zeichnungen [109] die „gefährlichen Stromschnellen" des Backflusses, welche nicht einmal eine Kälte von — 41° mit einer Eishaut zu überspannen vermochte, das Vorhandensein von Quellen unter dem Wasser anzuzeigen. — Adolf v. Schlagintweit unterscheidet [110] zweierlei Gruppen von auf die Quellentemperatur influirenden Faktoren. In die eine gehören die allgemeinen klimatischen Faktoren, Luftwärme, Stärke der Ein- und Ausstrahlung, Quantität und Qualität der Niederschläge, Tiefe der winterlichen Eisbildung, Höhe der Schneedecke, vielleicht auch die Eigenwärme der Erde, während in die zweite Gruppe die Exposition der Hänge, ihre Beschattung durch gegenüberliegende Berge, die Tiefe der Sammelbecken, die Bodenbeschaffenheit, namentlich die herrschende Wärmekapacität, und ähnliche rein tellurische Elemente zu stellen wären.

*) Auf alle diese Dinge hat sein Augenmerk zu richten, wer das mühselige und häufig undankbare Geschäft der Quellenfindung ausüben will. Von abergläubischen Spielereien mit der Wünschelruthe (S. 4) sehen wir hier ab; lediglich durch richtige Auffassung der Bodenverhältnisse haben Richard, Beratz u. A. entschiedene Erfolge im Entdecken verborgener Wasseradern gehabt, und für manche Departements Frankreichs hat die Thätigkeit des Abbé Paramelle reichen Segen gebracht. Emsmann schildert uns diesen Mann näher [111], der eine gute geognostische Vorbildung besass und seine Methode in einem achtbaren Werke [112] auseinandersetzte.

nicht vollständig aufgeklärte Rolle [116]. Lediglich der Vollständigkeit halber möge erwähnt sein, dass verschiedene Naturphilosophen, Steffens [117] an ihrer Spitze, die chemische Erosionstheorie durch die haltlose Hypothese von einem ungeheuren elektromotorischen Apparate ersetzen wollten, der in den Eingeweiden der Erde seinen Sitz haben und alle möglichen Zersetzungen bewirken sollte*).

b) **Indifferente Thermen.** Heisse Quellen, deren chemische Zusammensetzung sich auch bei sorgfältigster Analyse als eine mit dem gewöhnlichen süssen Wasser durchaus übereinstimmende erweist, kommen in allen Ländern, jedoch nur in plutonischen und vulkanischen Gesteinsbildungen vor [118]. Woher die spezifische Heilwirkung für rheumatische Leiden bei diesen Bädern kommt, von denen nur Gastein und Wildbad namhaft gemacht sein mögen, darüber sind die Fachmänner noch immer im Ungewissen. Die Temperatur dieser Thermen ist oft eine sehr hohe; gewisse Quellen Island's und Neuseeland's geben kochend heisses Wasser ab [119]. Bekanntlich giebt es auch heisse Springquellen, bei welchen oberflächliche Dampfexplosionen vorkommen, und auf sie ist schon im I. Bande (S. 333) hingewiesen worden; dieselben sind jedoch auch zugleich von derselben Natur, wie die unter der nächsten Rubrik zusammengefassten Quellen**).

c) **Intermittirende Quellen.** Die Mehrzahl der Quellen fliesst kontinuirlich, wenn auch nicht mit immer gleicher Stärke. Andere versiegen zeitweise; man spricht dann von intermittirenden und, wenn die Zeiten des Fliessens und Nicht-Fliessens regelmässig abwechseln, von periodischen Quellen. Auf die Art der Periodicität weisen die engeren Bezeichnungen Jahresquellen, Frühlings- und Sommerquellen, Stundenquellen hin [121]. Jahresquellen, die nur in besonders regenreichen und deshalb unfruchtbaren Jahren auf kurze Zeit hervorbrechen, kennt der Volksmund als Hungerbrunnen***). Aus der Schweiz und aus England liefen in Theuerungsjahren die meisten Nachrichten über solche Hungerbrunnen ein. Was die eigentlichen intermittirenden Quellen anlangt, so wird man Muncke auch jetzt noch Recht geben müssen, der dreierlei unter sich abweichende Ursachen

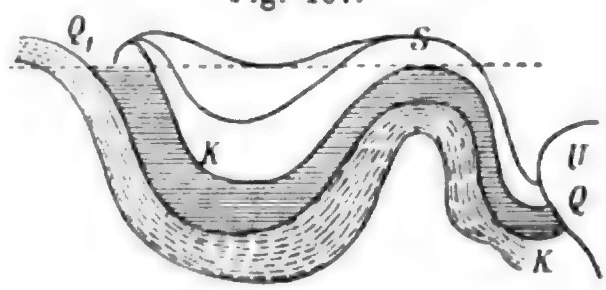
*) Auch unser gewöhnliches Trink- und Gebrauchswasser wird durch die Menge der darin suspendirten Mineralbestandtheile insoferne beeinflusst, als es durch sie einen verschiedenen Härtegrad erhält. Man legt nach Fehling's Skale dem Wasser den Härtegrad n bei, wenn 100 Gramm Wasser 0,00 n Gramm Kalciumoxyd oder ihm äquivalente Bestandtheile enthalten. Für $n \geq 18$ ist das Wasser weder zum Trinken, noch zum Kochen und Waschen mehr gut zu verwenden.

**) Die nahe Verwandtschaft zwischen Thermalquellen und vulkanischen Gebilden betont Lyell sehr entschieden [120]. Allerdings lasse sich bei Aufstellung dieser Analogie die Frage aufwerfen, wo denn bei den Thermen die enorme, den Vulkanen eigene Triebkraft nach oben bleibe. Darauf aber, meint Lyell, liege die Antwort in der grossen Menge fester und gasförmiger Stoffe, welche jede Therme, wenn auch ziemlich geräuschlos, an ihre Oberfläche treibe; nach Ramsay's Berechnung müssten die Sulphate und Chloride der Heilquellen von Bath binnen Jahresfrist einen festen Körper von 1170 cbm liefern können.

***) Bezüglich des „Bauerngrabens“ im Harz kann man zweifeln, ob derselbe mehr mit einer intermittirenden Quelle oder mehr mit dem Zirknitzer See (s. o. §. 1) in Parallele zu stellen wäre. Streng nimmt an [122], dass dieser bald gefüllte, bald wieder entleerte Kessel das Resultat eines doppelten Erdrutsches sei, und dass kleinere Einstürze und Nachfälle in den rings um den See gelagerten Gipsmassen noch immer an der Tagesordnung seien. Geklärt ist die Erscheinung noch keineswegs.

für denkbar hält [123]: „Diese Ursachen sind erstlich Ansammlungen von Luft oder Gasarten in den Kanälen der Quellen, zweitens der ungleiche Druck der Luft in unterirdischen Höhlen auf das in ihnen zugleich eingeschlossene Wasser, und drittens heberförmige Kanäle, welche das periodische Fliessen mancher Quellen auf gleiche Weise bedingen, als dieses bei'm sogenannten künstlichen Tantalus oder dem Vexirbecher geschieht.“ Beispiele dafür, dass der wechselnde Luftdruck die Ergiebigkeit einer Quelle nicht unerheblich zu beeinflussen vermag, kann man bei Lersch [124] angeführt finden (vgl. S. 226)*). Doch wird zweifellos in den meisten Fällen die Hebertheorie ihr Recht behaupten, auf welche sich unsere Fig. 107 bezieht. Q ist hier die subterrane Quellmündung, Q_1 die Tagesmündung, KK der beide verbindende gekrümmte Quellkanal, dessen höchster Punkt S mit Q mindestens im gleichen Horizonte gelegen sein muss. Wenn sich im Quellbehälter U Regenwasser angesammelt hat, so steigt dasselbe in der Röhre auf und ergiesst sich nach dem Hebergesetze so lange durch die Oeffnung Q_1, bis der Vorrath erschöpft ist, der treibend wirken kann, oder bis die innere Mündung des Hebers frei geworden ist. Zeitweiliges, unperiodisches Versiegen der Quellen wird meist durch vulkanische und seismische Ereignisse, oder auch durch tektonische Verwerfungen bedingt; gänzliches Aufhören eines längere Zeit beobachteten Wasserergusses steht, wie wir schon wissen (Kap. VII, §. 8 der fünften Abtheilung) fast immer mit Entwaldungen in Verbindung.

Fig. 107.



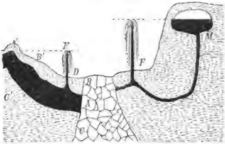
d) **Artesische Brunnen.** Das Gesetz der kommunicirenden Röhren erklärt auch einfach die Möglichkeit der Bohrquellen oder artesischen Brunnen. Das Kloster Lillers in Artois liess im Jahre 1126 einen solchen Brunnen graben**), und von der Grafschaft, in welcher diess geschah, erhielten diese künstlichen Quellen ihren Namen. Die erste Nachricht über artesische Brunnen findet sich nach Lersch [126] in der merkwürdigen Schrift des Paläontologen und Keramikers Palissy (S. 507 dieses Bandes) [127], allein recht bekannt scheinen dieselben auch dadurch noch in ihrem Vaterlande nicht geworden zu sein, denn der Astronom D. Cassini, der vor seiner Berufung nach Frankreich in Urbino grossartige Bohrungen fraglicher Art selbst geleitet hatte, machte durch seine hierauf bezügliche Beschreibung [128] den Gegenstand in seiner neuen Heimath erst recht bekannt. Den Sachverhalt erläutert Fig. 108. AA′ sei eine gegen unten konvexe, wasserführende Schicht, welche zwischen zwei undurchlässigen Schichten BB′ und CC′ eingebettet liege. Ein aus D bis zu einem tief gelegenen Punkte hinabgetriebenes Bohrloch bewirkt, dass ein Wasserstrahl bis zu einem

*) Der gelehrte Mediciner Cartheuser sagt u. a. [125]: „Memorari hoc loco merentur fontes barometrici, Wetterbrunnen, qui pluvia imminente turbidi evadunt, restituta autem coeli serenitate pristinam limpiditatem recuperant, et sic mutationes tempestatis praesagiunt.“

**) Unter den — theilweise — sehr tiefen Bohrbrunnen China's dürften sich wohl ältere befinden.

Punkte E emporspringt, der mit A′ in gleicher Horizontalebene liegt. Die gleiche Erscheinung wird sich ergeben, wenn aus einem andere Punkte F der Erdoberfläche ein Brunnenloch bis an einen unterirdiscen Kanal gebohrt wird, der mit dem unterirdischen Reservoir M kommunicirt. Namentlich in diesem letzteren Falle wird nicht selten der

Fig. 108.



artesische Brunnen zugleich auch ein intermittirender sein — dann nämlich, wenn die verlängerte Niveaufläche unterhalb des Punktes F vorübergeht*). Die berühmtesten artesischen Brunnen stellt uns mit ihren Maassverhältnissen folgende Tabelle von Lersch [131] vor Augen:

---

*) Ein intermittirender Brunnen dieser Art im trachytischen Karpathengebirge schleudert nach Ludmann [129] sein kohlensäurehaltiges Wasser in heftiger, ¼ bis 1 Stunde dauernder Eruption in die Luft, und dann tritt wieder eine Ruhepause von 8 bis 20 Stunden ein. Ludmann bemerkt, dass er eine völlig befriedigende Theorie des Phänomenes nicht zu erbringen in der Lage sei, und in der That ist erst später durch Henrich [130] die Grundlage zu einer solchen unter allgemeinen Gesichtspunkten gelegt worden. Von den verschiedenen möglichen Fällen, welche derselbe der Rechnung unterstellt, sei hier nur der erste besprochen. Es sei h die Tiefe, q der Querschnitt des Bohrloches, k ein Erfahrungskoefficient; dem Bohrloche sollen durch Spalten fortwährend Quantitäten mit Kohlensäure gesättigten Wassers zugeführt werden. In der Tiefe y steht das Wasser unter dem Drucke von $\frac{y}{10,33}$ Atmosphären, ein Kubikmeter Wasser vermag daselbst $\frac{ky}{10,33}$ Kubikmeter Kohlensäure zu absorbiren, und es ist demnach das ganze Kohlensäurequantum Q, welches vom Wasser absorbirt wird, durch die Relation

$$Q = \frac{kq}{10,33} \cdot \int_{10,33}^{h+10,33} y\,dy = \frac{kqh}{20,66}(20,66 + h)$$

ausgedrückt. Bei plötzlicher Befreiung vom hydraulischen Drucke würden $Q - kgh = \frac{kqh^2}{20,66}$ Kubikmeter Kohlensäure von gewöhnlicher Pressung entbunden werden. Die Auswerthung dieser und der an sie sich anschliessenden Formeln führt, wenn die Zahlwerthe für q und h den von G. Bischof herrührenden Angaben über die intermittirende Kohlensäurequelle von Neuenahr entnommen werden, zu befriedigender Uebereinstimmung mit der Erfahrung.

Ort.	Absolute Tiefe.	Reicht unter den Seespiegel.	Ort.	Absolute Tiefe.	Reicht unter den Seespiegel.
Mondorf . .	730 m	525 m	Kissingen	584 m	410 m
Oeynhausen	697	626	Grenelle	548	512
St. Louis . .	670	?	Hamburg	513	318

Grossartige Erfolge für das wasserarme Land hat das von französischen Ingenieuren im umfassendsten Maassstabe betriebene Anlegen artesischer Brunnen in Algerien gehabt, wo General Desvaux — in der Oase von Sidi-Rasched — den ersten Anstoss zu solchem Unternehmen gab. Aus Dove's [132] und Martins' [133] Beschreibung der gigantischen Wassermassen, welche die dortigen Bohrquellen lieferten, erhellt, dass gerade die Wüstenlandschaft höchst günstige Vorbedingungen darbot*). — Ein Maass für die Ergiebigkeit artesischer Bohrungen ist neuerdings von Thiem in mathematischer Form hergeleitet worden [134]**).

e) **Geysir's.** Jetzt erst sehen wir uns in der Lage, unser früher (Band I, S. 333) gegebenes Versprechen einzulösen und uns mit den heissen periodischen Springquellen zu beschäftigen, als deren ausschliessliches Heimathland man früher Island anzusehen gewohnt war. Von den isländischen Heisswasserbrunnen soll bereits der dänische Geschichtschreiber Saxo Grammaticus gewusst und berichtet haben [135], doch datirt deren wissenschaftliche Untersuchung erst seit dem Ende des vorigen und dem Beginn des jetzigen Jahrhunderts, und zwar vorzugsweise seit dem Erscheinen der Reisewerke von Olafsen und Povelsen [136] einerseits, von Mackenzie [137] andererseits. Später besuchten Bunsen und Sartorius v. Waltershausen die isländischen Thermalgebiete, und der Letztere gab von ihnen eine die allgemeinen geologischen Verhältnisse erörternde Schilderung [138], während Bunsen die physikalische Theorie der Quellen studirte und in einem bis auf unsere Tage als Richtschnur anerkannten Aufsatze [139] feststellte. Die gesammte einschlägige Literatur ist in der neuesten Bearbeitung dieser Phänomene durch O. Lang [140] kritisch gesichtet worden; von Lehrbüchern, welche sich der Frage gründlicher angenommen haben, wären diejenigen von G. Bischof [141] und J. Müller [142] zu nennen. — Die Landessprache bezeichnet die Siedwasserfontänen Island's mit dem auch in die wissenschaftliche Terminologie übergegangenen Worte Geysir. Weitaus am berühmtesten in der ganzen vulkanischen Quellenregion ist der grosse Geysir, der südwestlich vom Hekla gelegen ist; er stellt sich dar als ein mit Kieselsinter ausgefütterter Brunnenschacht, dessen kreisförmiger Quer-

*) Die bei den Arabern als Schreia's und Saguia's bekannten Oasenquellen sind nach Martins (a. a. O.) natürliche artesische Brunnen. Dass von je her denselben mit Kunst ein wenig nachgeholfen ward, bezeugen Olympiodor, Photius und Ibn Khaldoun.

**) Ist c die Kote des höchsten Wasserspiegels, der sich beim Ausfluss o im Steigrohr ergiebt, h die Kote des Wasserspiegels, bei welchem ein Ausfluss stattfindet, bedeuten k_1 und k_2 zwei von den Widerständen im Untergrunde und Rohre abhängige Konstante, so ist die Quantität Q durch die quadratische Gleichung gegeben:

$$k_1 Q + k_2 Q^2 = c - h.$$

schnitt 3 m lichten Durchmesser hat, während die lothbare Tiefe 23,5 m ausmacht; der Schacht erweitert sich oben zu einem flachen Becken von 17 m Durchmesser und von 2 m Tiefe. Für gewöhnlich ist Becken und Rohr mit krystallklarem Wasser von grünlicher Farbe angefüllt, dessen Ueberschuss an der Aussenseite des Beckens abfliesst. Alle 80 bis 90 Minuten aber vernimmt man unterirdischen Donner*), das Wasser im Becken geräth in Wallung, Dampfblasen steigen auf und zerplatzen, und das siedendheisse Wasser wird in die Höhe geschleudert. So ist der normale Verlauf der Eruption, allein von Zeit zu Zeit — mitunter dauert [143] die Pause ihre drei Tage — nimmt jene weit grossartigere Dimensionen an; dann wird nämlich die Wallung im Wasserbecken weit energischer, und zuletzt schiesst ein in feinen Staub aufgelöster Strahl 25 bis 30 m hoch aus dem Bassin empor, gefolgt von weiteren Dampf- und Wassersäulen und von einer mächtigen Dampfballenentwickelung. Becken und oberer Theil der Zuflussröhre sind nach einer solchen Katastrophe momentan ganz von Wasser entblösst, und es dauert Stunden lang, bis die kleinen Abflussrinnen des Beckens wieder zu laufen anfangen. Unweit vom grossen Geysir liegt der Strokkr, eine ebenfalls mit heissem Wasser gefüllte, aber unter normalen Umständen niemals zum Ueberlaufen gelangende Quelle, deren Wasser einem beständigen Siedeprocesse zu unterliegen scheint und in häufigen, jedoch weit weniger gewaltsamen Auswürfen aus dem Rohre befördert wird. Der kleine Geysir liegt acht Meilen vom grossen entfernt [144]. Auch ihm sind periodische Eruptionen eigen, doch erfolgen dieselben minder abrupt, vielmehr steigt das Wasser langsam empor, bis es nach etwa zehn Minuten seine grösste Höhe erreicht hat und nun nach allen Seiten in Garben abfällt. Ein zweites Geysirgebiet, ausgedehnter noch als das isländische, ist uns durch v. Hochstetter's berühmte Reisen in Neuseeland erschlossen worden [145]. Das Centrum der dortigen Nordinsel nimmt der Taupo-See ein, um welchen herum sich Thermalquellen der mannigfaltigsten Art gruppiren; unter ihnen ragen wieder die Puia's — so heissen die warmen Sprudel in der Máori-Sprache — von Orakeikorako am meisten hervor. Längs des Flusses Waikato ziehen sich dieselben hin, und zumal die „Puia te mimi a hamaiterangi" ist ein ächter und rechter Geysir**). Eine dritte, wohl noch abwechselungsreichere Geysirgegend hat der treffliche Unions-Geologe Hayden im Quellengebiete der dem Missouri tributären Yellowstone- und Madison-Flüsse entdeckt [147].

*) Heftige unterirdische Geräusche vernimmt man im isländischen Vulkangebiete überhaupt sehr häufig; am bekanntesten durch sein Grollen ist der „Anschrollin" oder brüllende Berg, der das Signal zu den Explosionen in der Nachbarschaft zu geben pflegt.

**) C. Vogt sagt von dieser Puia [146]: „Die grosse Taratara-Quelle ist wohl das leibhafte Ebenbild des Geysir, nur mit dem Unterschiede, dass sie noch kapriciöser in ihren Ausbrüchen ist." — Eine andere Merkwürdigkeit jener Gegend sind die grossen Terrassensprudel, mit denen uns eben auch v. Hochstetter zuerst bekannt gemacht hat. Otukapuarangi und Whakataratara sind die schönsten Typen dieser — nunmehr auch in Nordamerika aufgefundenen — Erscheinung. Der Abfluss des heissen Sprudels hat längs des Bergabhanges, an welchem er herabrinnt, ein System von Terrassen aus Kieseltuff gebildet, in deren Höhlungen sich theilweise selbst wieder kleine Warmwasserbecken befinden. Das Ganze soll den Eindruck erwecken, als ob ein in Kaskaden herabstürzender Wasserfall plötzlich zu Stein erstarrt wäre.

In diesem — von der Washingtoner Regierung zum Nationalpark erklärten — Territorium sind nach Hayden sieben charakteristische Geysir-Gruppen zu unterscheiden, ganz abgesehen von warmen Quellen, Terrassen-Seen und kleineren, ganz regelmässig mit Kieselsintereinfassungen versehenen Becken, den sogenannten „Punschbowlen". Endlich wäre noch an den allerdings nur hypothetisch den Geysir's zugerechneten Paliken-See (s. o.) zu erinnern. — Was nun die Theorie der Geysirphänomene anlangt, so hat es darüber nicht an mancherlei Hypothesen gefehlt. Bischof (a. a. O.) begnügte sich mit einem Hinweise auf das Analogon des Heronsbrunnens und mit einem auf diese Analogie basirten Vorlesungsversuche. Mackenzie dachte an die Existenz grosser unterirdischer Dampfkessel; in einem mit der Geysirröhre seitlich zusammenhängenden Hohlraume sollten sich Dämpfe ansammeln, die sich bei hinlänglich gesteigerter Spannkraft den gewaltsamen Ausgang aus ihrem Gefängnisse erzwängen. An dieser Theorie brachte Krug zur Nidda einige Verbesserungen an [148], und Lang giebt zu, dass dieselbe für den kleinen Geysir recht wohl das Richtige treffen könne [149]. Bunsen's Erklärung gieng von sorgfältigen Temperaturmessungen aus; der Kern jener lässt sich etwa so fixiren*): Der Geysir hat sich sein Rohr allmählig selbst gebaut; der Sitz der treibenden Kraft ist im Rohre selbst und nicht in irgendwelchen Hohlräumen ausserhalb derselben zu suchen. Um die Erscheinung im Kleinen nachzubilden, konstruirte J. Müller [150] eine etwa 1,5 m hohe, unten geschlossene Blechröhre, welche er oben in ein flaches Blechbecken von etwa fünfmal grösserem Durchmesser münden liess. In der Mitte seiner Höhe wurde an das Rohr ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken angeheftet; der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring auf drei Beinen getragen. So justirt, wird das Rohr ungefähr

*) Bunsen's wörtliche Darstellung (a. a. O.) ist folgende: „Denkt man sich eine einfache inkrustirende Thermalquelle, welche das Wasser von ihrem Bassin aus über eine flach geneigte Bodenfläche ausgiesst, so ist es einleuchtend, dass das Bassin, in welchem das stets erneuerte Wasser der Verdunstung nur eine höchst unbedeutende Oberfläche darbietet, von Kieselbildungen frei bleiben muss, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder sich mit einer Kieselerdekruste bekleiden. Weiterhin, wo das Wasser sich auf der die Quelle umgebenden Bodenfläche ausbreitet, nehmen die Inkrustationen in dem Maasse zu, als seine Verdunstungsoberfläche wächst. Die dadurch bewirkte Bodenerhöhung setzt dem Abflusse des Wassers allmählig ein Hinderniss entgegen und leitet dasselbe gegen den tieferen Boden hin, wo das Spiel dieser Sinterbildungen sich von Neuem wiederholt, bis die veränderten Niveauverhältnisse immer wieder einen Wechsel des Wasserabflusses herbeiführen. Da das Quellenbassin an dieser Inkrustation keinen Antheil nimmt, so baut es sich, indem es sich mit einem Hügel von Kieseltuff umgiebt, zu einer tiefen Röhre auf, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geysir zu verwandeln. Ist eine solche Röhre verhaltnissmässig enge, und wird sie von einer nicht zu langsam hervordringenden, durch vulkanische Bodenwärme von unten her sehr stark erhitzten Wassersäule erfüllt, so muss eine kontinuirliche Springquelle entstehen. Ist dagegen die durch den Inkrustationsprocess gebildete Röhre hinlänglich weit, um von der Oberfläche aus eine erhebliche Abkühlung des Wassers zu gestatten, und tritt der weit über 100° erhitzte Quellenstrang nur langsam in den Boden der weiten Röhre ein, so finden sich in diesen einfachen Umstanden alle Erfordernisse vereinigt, um die Quelle zu einem Geysir zu machen, der periodisch durch plötzlich entwickelte Dampfkraft zum Ausbruche kommt und unmittelbar darauf wieder zu einer längeren Ruhe zurückkehrt."

bis zu seiner Mündung in das Becken mit Wasser gefüllt, dann wird sein unteres Ende in einen Kohlenofen gesenkt, und auch der mittlere Kohlenbehälter wird angefacht. Nach einiger Zeit beginnt bei dem oberen Kohlenbecken die Dampfbildung, allein die ersten Dampfblasen bringen nur ein momentanes Aufwallen zu wege, und erst nach mehreren vergeblichen Versuchen wird die Dampfbildung intensiv genug, um eine Explosion und ein Hinausschleudern des Wassers bewirken zu können*). Lang's wohldurchdachte Einwürfe gegen Bunsen's Lehre gipfeln in dem Tadel [152], dass nicht gezeigt werde, wie eine so beträchtliche Wassermaasse endlich doch jäh und plötzlich zum Kochen kommen könne; Lang's eigene Theorie, welche er der Bunsen'schen substituirt, lässt sich so formuliren [153]: Die Bedingung einer Eruption ist, dass im nämlichen Augenblicke eine Wassermasse, weit beträchtlicher, als die im Rohre selbst enthaltene, unter hydraulischem Verschlusse aufkocht**).

f) **Meermühlen.** Es mag auf den ersten Blick befremdlich erscheinen, dass eine anscheinend weit mehr der sechsten oder siebenten Abtheilung unseres Werkes zuzuweisende Erscheinung gerade hier ihren naturgemässen Platz finden solle, und doch wird sich, wie wir hoffen, diese unsere Anordnung bald als eine berechtigte herausstellen. Mit dem Thatsächlichen hat es die folgende Bewandtniss***). Die der jonischen Gruppe angehörige Insel Kephalonia ist an sich durch ihren merkwürdigen geologischen Bau und zumal durch ihre theilweise bis unter den Grund des Meeres sich hinziehenden Kesselthäler ausge-

*) Ein vervollkommnetes Instrumentchen dieser Art ward von K. L. Bauer in der mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektion der Karlsruher Philologenversammlung demonstrirt [151].

**) Es wird von Lang namentlich auch betont, dass man den im Geysirrohre vor sich gehenden, zuerst von Krug zur Nidda wahrgenommenen Strömungsbewegungen mehr Gewicht beilegen müsse, als von Seite Bunsen's geschehen sei. Das Erliegen eines Geysirs führt unser Gewährsmann [154] zurück auf ein Undichtwerden seines Verschluss-Apparates. Man wird sowohl der Lang'schen Kritik, als auch der neuen Theorie selbst die Anerkennung nicht versagen dürfen. tief in die Sache eingegangen zu sein, allein „das von Bunsen zuerst angegebene Spiel des Geysirs in selbst gebautem, geradem Steigrohr ist so einfach und natürlich, dass sich nur Wenige der Lang'schen Theorie zuwenden dürften". Diese von Zöppritz ausgesprochene Ansicht [155] ist auch im Wesentlichen die unsrige.

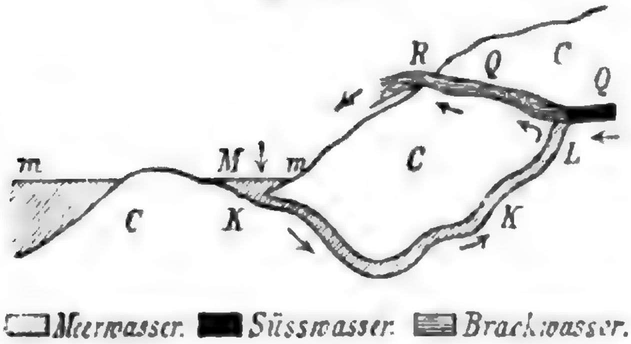
***) Der bekannte Arzt und Physiker John Davy setzte im Jahre 1835 seinen Freund Forbes davon in Kenntniss, dass ein Kollege, ein englischer Militärarzt, ihn von einem höchst merkwürdigen hydraulischen Vorgange auf der Insel Kephalonia benachrichtigt habe; Jameson hat die Drucklegung dieses Schreibens von Davy besorgt [156]. Unter dem wissenschaftlichen Gesichtspunkte untersuchte die Meermühlen nachmals Mousson, der konstatirte [157], „dass die Mühle von Argostoli, weil einzig in ihrer Art, eine der merkwürdigsten Erscheinungen der physikalischen Erdkunde darstelle." Zwei Jahre später suchten der Botaniker Unger und der Astronom Jul. Schmidt umsonst den Schleier etwas mehr zu lüften [158], und der Engländer Ansted erstattete wenigstens einen sehr genauen Bericht über seine dort gemachten Wahrnehmungen [159]. Heutzutage verfügt die Literatur über die nach jeder Hinsicht erschopfende Monographie, welche K. W. M. Wibel in Verbindung mit seinem Sohne F. Wibel ausgearbeitet hat, und welche nicht blos alles über den Gegenstand irgendwann Geschriebene verarbeitet, sondern auch überall die gründlichste Lokalkenntniss und einen hingebenden Forschereifer erkennen lässt [160]. Wir sind Dank dem freundlichen Entgegenkommen von Herrn Direktor F. Wibel in der Lage, dessen allerneueste Forschungsresultate für unser Buch verwerthen zu können.

zeichnet. Namentlich die Halbinsel Argostoli an der Westseite ist in hohem Grade karstartig zerklüftet, und Brackwasserquellen brechen dort allerorts hervor, während es an eigentlichen Wasserläufen fast völlig mangelt. An der äussersten Halbinselspitze nach Norden hin scheint der Strand auf das Meerwasser einen geradezu attraktiven Einfluss auszuüben, und der Engländer Stevens konstatirte, dass das Meer dortselbst von unterirdischen Klüften aufgesogen wird, in welche es mit grosser Gewalt hineinstürzt. Stevens legte an einer jener Oeffnungen eine Getreidemühle an, die „alte Mühle“, zu welcher dann später noch die unweit ostwärts gelegene „neue Mühle“ hinzukam. Im Jahre 1855 machte das Mühlrad seine Umdrehung in 9—10 Sekunden, und diese Geschwindigkeit behält es ziemlich gleichmässig bei, soferne nicht einmal die Oeffnungen der aufsaugenden Klüfte sich zeitweilig durch den in grosser Menge umhertreibenden Seetang verstopfen [161]. Nach genauen Messungen verschwindet pro Tag eine Masse von 58300 Kubikmetern Seewasser im Boden, über deren Verbleib zunächst nicht die mindeste Auskunft gegeben werden kann, weshalb wohl mit Recht von einem „geophysikalischen Räthsel“ gesprochen ward. — Mit Uebergehung älterer und an sich unzulässiger Erklärungsversuche*) verweilen wir blos bei den wichtigeren Theorieen; diess sind aber einzig die von Mousson (a. a. O.) und von Wibel aufgestellten. Mousson nimmt an, dass ein stets sich erneuernder Austausch zwischen den in die Bodenspalten einströmenden Wassermengen und dem freien Weltmeere stattfinde. „Wenn das Wasser durch eingreifende Risse der Erdkruste in eine Tiefe gelangt, wo es um eine Anzahl Grade sich erwärmt — dazu genügen einige tausend Fuss vollkommen — und andere Wege zum Wiederemporsteigen findet, so wird unter dem ungleichen Drucke der kälteren sinkenden und wärmeren steigenden Säule eine Cirkulation sich herstellen, die einmal begonnen nicht wieder aufhört, eine Cirkulation, die von den oberflächlichen Veränderungen durch Wind- und Wasserstand ganz unabhängig ist. Freilich bleiben die Stellen unbekannt, wo das emporsteigende wärmere Wasser sich wieder in das weite Becken des Meeres ergiesst, Stellen, die möglicherweise bedeutend entfernt unter dem Spiegel des letzteren liegen können“ [163]. Giebt man Mousson Recht, so trennt man die Meermühlen allerdings von jedem Kausalnexus mit den Inlandquellen los, allein vor Wibel's Kritik will die Cirkulationshypothese auch nicht recht Stand halten [164]. Eine sehr ansprechende Konkordanz zwischen Beobachtung und Theorie wird dagegen erreicht, wenn man mit Wibel den negativen Seitendruck in Röhren strömender Flüssigkeiten als die dem Geheimnisse zu Grunde liegende Erscheinung betrachtet, ein hydrodynamisches Princip, auf welches durch die Arbeiten von Magnus [165] und v. Feilitzsch [166]

*) Wir meinen hier zumal jene Auffassung, welche das Einströmen auf — in Wahrheit gar nicht vorhandene — Niveauunterschiede zurückführen wollte, und jene, welche das Phänomen mit den vulkanischen und seismischen Processen einer ziemlich entfernten Umgebung in Verbindung brachte. Die „Schwammtheorie“ (S. 395 des ersten Bandes) hätte die Meermühlen allerdings trefflich fruktificiren können. Dass das vom Lande aufgenommene Seewasser unmöglich durch blosse Verdunstung wieder zurückgegeben werden könne, hat Strickland bereits im Jahre 1835 nachgewiesen [162].

volles Licht gefallen ist. Das Wesen des Principes lässt sich am besten an der von F. Wibel konstruirten Saugluftpumpe erläutern, die sich in den Sektionsverhandlungen der Wiesbadener Naturforscherversammlung beschrieben findet*). Hiernach hat man sich die das Meermühlenphänomen in seiner Gesammtheit darstellenden natürlichen Vorgänge so zu denken, wie Fig. 110 sie darstellt. C ist das zerklüftete Strandgebirge, mm der Meerespiegel, M die Mühle. Bei M stürzt das Seewasser in eine zunächst annähernd vertikale Kluft KK hinab, welche sich später wieder aufwärts krümmt und bei L seitlich in einen von Süsswasser erfüllten Quellstrang QQ mündet, der selbst bei R seine Tagesmündung hat. Das strömende Süsswasser wirkt saugend auf das in der Röhre KK schon von selbst — gemäss dem Gesetze von den kommunicirenden Röhren — bis zu einer gewissen Höhe angestiegene Meerwasser, dasselbe dringt in den Quellkanal QQ ein, vermischt sich daselbst mit dem süssen Wasser, und so tritt bei R eine der zahllosen Brackwasserquellen hervor, von denen oben berichtet ward**). Man kann sonach mit grosser Wahrscheinlichkeit den Satz aufstellen: Die beiden der Insel Kephalonia eigenthümlichen und oft als Vereinigung zweier Seltenheiten bewunderten Erscheinungen der Meermühlen und der zahlreich vorkommenden Quellen mit Salzwasserbeimischung stehen in engster Kausalbeziehung zu einander, und gerade durch diese Verbindung an sich schwer zu erfüllender Vorbedingungen erklärt sich das, soweit bislang bekannt, völlig isolirte Auftreten des Phänomenes von Argostoli.

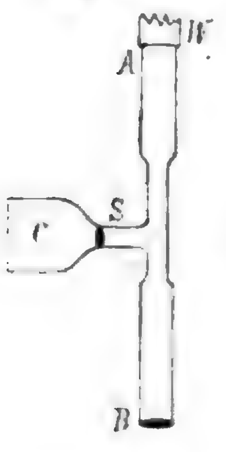
Fig. 110.



---

*) Wenn der Raum C (Fig. 109) evakuirt werden soll, so verbindet man ihn mit der kurzen Seitenröhre S der den Apparat hauptsächlich bildenden längeren Metallröhre A B. Das Ende A wird durch einen Kautschukschlauch mit der Wasserleitung W, die allerdings unter hinreichend starkem Drucke stehen muss, verbunden, während das Wasser bei B aus der Röhre ausströmt. Bei S entwickelt sich dann ein ausgiebiger Aufsaugungsprocess, und die dem Raum C entzogene Luft wird durch das Wasser mit fortgerissen. Bei ausströmenden Gasen war der Umstand, dass bewegte Massen einen minder starken Druck auf ihre Seitenwände ausüben, als ruhende, schon früher von Clément und Desormes wahrgenommen worden, und in Giffard's sogenanntem Injektor sehen wir das Princip nach seiner praktischen Seite, nämlich zum Nachfüllen der Dampfkessel, ausgenützt [167].

Fig. 109.



**) Die Wibel'sche Pumpe ermöglicht es, den Vorgang im Laboratorium nachzuahmen. Man verbindet das Seitenrohr nicht, wie vorhin, mit einem Recipienten, sondern mit einer Wanne, die gefärbte Flüssigkeit enthält. Eine Federklemme hindert zuerst die Kommunikation; sowie aber letztere eröffnet ist, zeigt sich gleich auch im Abflusswasser der Farbstoff. Ob wohl der Versuch von [illegible] (s. o.) auch bei den Meermühlen von Erfolg begleitet wäre?

§. 5. **Flüsse und Bäche.** Die Quellen, mit welchen sich unser voriger Paragraph zu beschäftigen hatte, liefern weiterhin die verschiedenen Wasserläufe, deren morphographische Besonderheiten am besten im Anschlusse an die Definitionen v. Sonklar's geschildert werden [168]. Der Abfluss einer schwächeren Quelle über eine geneigte Bodenfläche heisst Riesel („Rieselfelder" der Grossstädte); mehrere Riesel bilden in ihrer Gesammtheit einen Bach, mehrere Bäche einen Fluss, mehrere Flüsse einen Strom. Die Komponenten kann man Quellflüsse nennen (Werra und Fulda für die Weser, Paraguay und Paraná für den La Plata. Küstenflüsse finden schon nach kurzem Laufe ihr Ende im Meere, Steppenflüsse verrinnen im Sande ohne eigentliche Seenbildung. v. Helmersen meint [169], dass „in der allgemeinen Definition Centralasien's" als eines die Verdunstung befördernden und niederschlagsarmen Atmosphärengebietes zugleich der Schlüssel für das Versiegen von Seen und Flüssen gegeben sei. Der Murghab in Afghanistan, der Wadi Guir in Marokko, der Rio Primero und Secundo können als Beispiele solcher Steppenflüsse dienen. Zwillingsströme vereinigen sich kurz vor ihrer Einmündung in das Meer (Euphrat und Tigris, Ganges und Brahmaputra). Das Flussbett ist vom Rinnsal sehr verschieden, denn, während letzteres oft nur von einem dünnen Wasserfaden durchzogen wird, nimmt das Bett, ganz besonders bei Gebirgsflüssen, einen recht beträchtlichen Flächenraum ein. Selten — z. B. bei'm Congo (S. 525) — stimmen Flussbett und Rinnsal vollständig überein. Jeder Hauptfluss nimmt Nebenflüsse auf, allein nicht immer ist die in der geographischen Wissenschaft übliche Bezeichnung auch die morphographisch korrekte, wie denn bei richtiger Vergleichung der bisherigen Lauflänge und der mitgeführten Wassermengen die Namen Donau und Mississippi von Rechts wegen durch Inn und Missouri zu ersetzen wären. Peschel verbreitet sich mit gewohnter Literatur- und Kartenkenntniss über die bewusst oder unbewusst bei der Namengebung der Flüsse in Anwendung gekommenen Principien [170] und zeigt, dass da, wo die Onomatologie geographische Fehler der genannten Art begieng, meist der bevorzugte Wasserlauf geschichtlich und wirthschaftlich mehr Bedeutung für das den Namen ertheilende Volk besass, als der an sich zurückgesetzte. Indem wir jetzt noch eine Reihe von Normen aufstellen, welche für alle strömenden Gewässer ohne Unterschied Gültigkeit haben, lassen wir den nur quantitativen, nicht aber grundsätzlichen Unterschied zwischen Flüssen und Bächen ganz bei Seite. Blos eine besondere Abart dieser letzteren nimmt eine Sonderstellung ein: es sind diess die Wildbäche der Gebirge, mit deren Eigenthümlichkeiten uns ein vortreffliches Schriftchen von P. Lehmann [171] sehr genau vertraut gemacht hat*).

---

*) Die erste „torrentium ratio" hat J. Vossius zu geben versucht, doch begnügt er sich im Wesentlichen mit dem Hinweise darauf, dass selbe den niedrigen Breiten eigenthümlich seien (?) [172]. Die wissenschaftliche Behandlung des Gegenstandes beginnt mit einer Dissertation des Innsbrucker Mathematikers Zallinger zum Thurn [173], von dem uns durch Schrank mehrere tüchtige Arbeiten hydraulischer Natur aufbehalten sind [174], und mit einer französischen Denkschrift von Fabre [175]; die späteren Arbeiten von Surell, Streffleur, Duile, A. Koch, Cézanne u. A. findet man mit kurzer Inhaltsangabe zusammen-

Ein Stromsystem nimmt alle Zu- und Nebenflüsse in sich auf, und an ihm sind wesentlich drei hydrographische Merkmale zu beachten: Stromgebiet, Stromentwickelung und Wassermenge*). Ersteres ist identisch mit dem oroplastischen Begriffe des Strombeckens — „bassin" nach Boussinesq (S. 522) —, während die auch vorkommende Bezeichnung Quellenbezirk minder prägnant ist. Dass die freilich oft recht unkenntlichen Grenzen zweier Stromgebiete Wasserscheiden heissen, ist bereits aus Kap. II, §. 2 bekannt. Stellen, an denen sich zwei Flüsse von sonst sehr verschiedener Laufrichtung so nahe kommen, dass man vom einen zum anderen Boote und Handelsgüter auf dem Landwege befördert, sind als Trageplätze oder Portagen bekannt; hierher gehört z. B. die Landenge zwischen Düna und Dnjepr bei Witebsk, aber am häufigsten finden sie sich in den weiten Jagdgründen der amerikanischen Pelzkompagnieen. In wenigen Ausnahmefällen ereignet es sich, dass die Wasserscheide vollkommen verschwindet, und dass sichtbar zwischen zwei verschiedenen Flusssystemen eine Verbindung hergestellt ist, wie wir sie unterirdisch nach den in §. 4 erwähnten Untersuchungen von Knop wohl für viele Systeme stipuliren müssen. Man spricht alsdann von einer Bifurkation oder Gabelung. In Europa sind schwache Spuren solcher unnatürlich erscheinender Verbindung nur in Italien, in der schwedischen Provinz Norbotten und im östlichen Westphalen (nicht weit von Bielefeld) nachzuweisen; mannigfache Verschlingungen scheint in Hinterindien das Netz der Flüsse Irawaddi und Salween erkennen zu lassen, doch treten alle diese Vorkommnisse in den Hintergrund gegenüber der im Durchschnitt 280 m über dem Meere gelegenen natürlichen Kanal-

---

gestellt bei Lehmann [176]. Diesem zufolge markiren sich deutlich drei Theile. das Sammelgebiet, der Sammelkanal und der Schuttkegel, von denen jeder der beiden ersten den Berghängen, der dritte dem Thalboden angehört, und die oft nahe genug bei einander liegen, um von einem geeigneten Aussichstpunkte aus mit Einem Blicke überschaut werden zu können. Das Sammelbecken hat meist eine Cirkusform, nach dessen Boden vom umschliessenden Kamme aus zahlreiche Furchen laufen, für gewöhnlich grossentheils leer oder doch nur mit schwachen Wasseräderchen erfüllt. Nur eines einzigen Platzregens aber bedarf es, und es kommt ein grossartiges Leben in diese Stille. Je steiler und kürzer das Bett des Wildbaches ist, um so schneller entwickelt sich die Katastrophe dessen, was man in Tyrol einen Muhrgang oder Muhrbruch nennt; oft genügt eine einzige Schuttwalze, um grosses Verderben zu bringen, oft auch folgen einander mehrere solch' halbflüssiger Lawinen. Ob ein solcher Wasserlauf als eigentlicher Wildbach oder als Gebirgsstrom zu gelten habe, darüber kann man in vielen Fällen zweifelhaft sein; Surell theilt die Alpenwasserläufe in „rivières", „rivières torrentielles", „torrents" und „ruisseaux" [177]. Dass fast einzig und allein starke Regengüsse im Hochgebirge das Anwachsen der Wildbäche herbeiführen, und dass sekundäre Einflüsse dabei kaum in Betracht kommen, ist durch Lehmann's statistische Nachweise sicher gestellt. Der nächste Paragraph wird uns nochmals zu dem Gegenstande zurückführen.

*) Stromgebiete richtig zu trennen, ist oft eine schwere Aufgabe für den darstellenden Geographen. Zumal Afrika, über dessen Stromsysteme man sich jetzt in einer sehr zeitgemässen Monographie von Chavanne [178] Raths erholen kann, bietet Schwierigkeiten dieser Art, und zwar besonders deshalb, weil die Quellgebiete der drei grössten Ströme verhältnissmässig nahe bei einander liegen. Die durch Livingstone und Junker einerseits, durch Cameron und Serpa Pinto andererseits nach Möglichkeit ermittelten Wasserscheiden zwischen Nil und Uelle, Congo und Zambesi sind schwankend — grösstentheils wohl deswegen, weil aus den in §. 3 erwähnten Erdschwämmen das Wasser nach allen Seiten hin abfliesst.

verbindung zwischen Orinoko und Amazonenstrom*), welche im ersteren Flusse bei der Mission Esmeraldas ihren Anfang nimmt. Wenn die Wasserscheide eine geschlossene, in sich zurücklaufende Kurve bildet, so umschliesst sie einen Binnenfluss oder kontinentalen Fluss (Stromgebiet des kaspischen Meeres, des Lob-Nor-, des Tsad-See's, Jordan) [180].

Unter Stromentwickelung, um nun auch diesem zweiten Fundamentalbegriffe gerecht zu werden, versteht man die räumliche Ausbildung eines Stromgebietes, wie sie sich in der Lauflänge**), im direkten (Luftlinien-)Abstande von Ursprung und Mündung, in den Krümmungen des Flusslaufes, im Gefälle und in der Mündungsform offenbart. Die letztere hat uns schon in Kap. II der vorigen Hauptabtheilung beschäftigt. Die beiden erstgenannten Bestimmungselemente haben selbstverständlich oft einen sehr verschiedenen Zahlenwerth; bei'm Amazonas ist das numerische Verhältniss beider annähernd = 0,5, bei'm Rhein = 0,6, bei'm Nil = 0,8. Das Gefälle ist durch den Winkel arc tang $\frac{m}{n}$ bestimmt, wo m die absolute Seehöhe der Ursprungsstelle, n die Projektion der genannten Luftlinie auf eine durch die Mündung gelegte Horizontalebene bedeutet.

Der Stromlauf selbst pflegt in Oberlauf, Mittellauf und Unterlauf abgetheilt zu werden [183]. Der Uebergang vom ersten zum zweiten Theile ist nicht selten durch eine Seenbildung charakterisirt (Rhein-Bodensee, Jordan-See Tiberias). Da, wo das Flussbett plötzlich enge und steil wird, müssen Stromschnellen entstehen. Solche hat die Donau in ihrem Mittellaufe (Strudel und Wirbel bei Grein) und in ihrem Oberlaufe, sowie auch in ihrem Unterlaufe zwischen Basiasch und Orsowa (Eisernes Thor). Ferner sind sehr bekannt die Rapid's des Missouri, die Stromschnellen von Maypures im Orinoko, die neuerdings viel genannten 10 Nil-Katarakte zwischen Khartum und Assuan und die reissenden Stellen im Congo. Jäh abstürzende Wände, über welche sich das Wasser eines Baches oder Flusses bewegen muss, verwandeln eine Stromschnelle in einen wirklichen Wasserfall***).

*) Nach H. Wagner, der spanische Originalquellen citirt, muss der berühmte, von Humboldt zwar nicht entdeckte, aber erstmalig klar in seiner Eigenschaft erfasste Stromkanal Casiquiare geschrieben werden [179].

**) Setzt man die Länge des Themselaufes = 1, so hat nach Muncke [181] der Rhein eine solche von 5,25, die Donau von 7, die Wolga von 9,5, der Indus von 5,5, der Euphrat von 8,5, der Ganges und Brahmaputra von 9,5, der Jenissei von 10, der Ob von 10,5, der Amur von 11, die Lena von 11,5, der Hoang-ho von 13,5, der Nil von 12,5, der Mississippi von 8, der Marañhon von 15,75. Genau sind solche Vergleichungen nicht leicht anzustellen, wie uns deutlich das von Zöppritz [182] bekanntgegebene Resultat einer unlängst von v. Tillo unternommenen Arbeit zeigen kann, durch welche mehrere anscheinend feststehende Werthe von Lauflängen als falsch eruirt worden sind.

***) Was man bis zum Jahre 1836 von Wasserfällen wusste, hat Muncke sehr gut zusammengestellt [184]. Zu den höchsten Fällen Europa's gehört der Staubbachfall im Thale von Lauterbrunnen, der Fall der Krimler Ache in den westlichen Tauern und der Gusta in der norwegischen Provinz Thelemarken; die grösste Absoluthöhe (390 m ohne Absatz) erreicht vielleicht der Gavarnie-Fall in den Pyrenäen. Californien besitzt den noch höheren Yosemite-Fall. J. Pfaff, dem wir diese Notiz entnehmen, beschreibt auch andere Wasserfälle näher, unter denen in Afrika der Zambesi-Fall hervorragt [185]; die Congo-Fälle sind

Was die Wassermassen anlangt, welche ein Strom mit sich fortführt, so sind dieselben natürlich erstens von der Grösse seines Quellenbezirkes, zweitens von der Menge und Lauflänge seiner Zuflüsse und drittens in sehr hohem Grade von den meteorologischen Verhältnissen des durchströmten Gebietes (vgl. S. 266) abhängig. Alle angegebenen numerischen Werthe haben deshalb nur einen Durchschnittscharakter, so wenn v. Sonklar die Stundenquantitäten verschiedener Ströme durch die Proportion Mississippi : Ganges : Nil : Donau : Rhein : Theiss : Drau = 1980 : 1753 : 1267 : 1074 : 265 : 138 darstellt [190]. Bei europäischen Flüssen fällt die Jahreszeit freilich auch in's Gewicht, aber keineswegs so wie bei den Flüssen in niedrigen Breiten, welche eine Regenzeit aufweisen. Bei'm Nil verhalten sich die Jahresextreme der Quantität nach wie 11 : 1, bei'm Indus wie 8 : 1. Genaue Aichungen, wie sie Forel bei'm Ausflusse des Rhône aus dem Leman in's Werk gesetzt hat [191], lassen übrigens auch die Verschiedenheit der Monate sehr deutlich in die Erscheinung treten, wie wir aus der von genanntem Forscher angefertigten Tabelle ersehen können:

Monat.	Mittlere Seehohe.	Mittlere Wassermasse pro Sekunde.	Monat.	Mittlere Seehöhe.	Mittlere Wassermasse pro Sekunde.
Januar . .	88 cm	183 cbm	Juli . . .	202 cm	460 cbm
Februar . .	86	180	August .	208	473
März . . .	84	170	September	179	410
April . . .	93	200	Oktober .	141	323
Mai . . .	111	250	November .	116	260
Juni . . .	160	370	December .	101	227

Höchst erwünscht wäre es, aus den für die Wassermengen angegebenen Zahlen die darin enthaltenen Quanta mitgeführter fester Sinkstoffe ausscheiden zu können; hat sich doch die Sedimentablagerung bei den neueren Untersuchungen über die Gestalt der Erdoberfläche mehr und mehr als ein wichtiges morphologisches Element heraus-

nicht so grossartig, als die ersten Nachrichten erwarten liessen, Pechuël-Lösche erkennt sogar nur den Fall von Isangila wirklich als solchen an und fährt dann fort [186]: „Die übrigen als Fälle betrachteten unbefahrbaren Stellen des Congo sind im strengen Sinne des Wortes nur als Stromschnellen aufzufassen, viele freilich als Stromschnellen der grossartigsten Form.“ Süd-Amerika besitzt in Guyana einen Wasserfall von 240 m Höhe, dessen Strahl zuletzt jede Aehnlichkeit mit Wasser einbüsst und in die bekannte Raketenschweifform des Staubbaches (s. o.) übergeht [187]. Das grossartigste Phänomen dieser Art ist natürlich der Fall des Niagara zwischen Erie- und Ontario-See; wäre es möglich, was neuestens angestrebt werden soll, die ungeheure aktuelle Energie dieses Wassersturzes durch Akkumulatoren und elektrische Transmissionen mechanisch zu verwerthen, so würden dadurch alle Dampfmaschinen der vereinigten Staaten überflüssig gemacht werden. Seit dem 17. November 1877, an welchem Tage ein grosser Theil des Absturzfelsens auf der Canada-Seite zusammenbrach, hat übrigens das weltbekannte Hufeisen des Niagara mehr eine rechtwinklige Form angenommen [188]. — In höchst origineller Weise haben A. und E. Heim es unternommen [189], eine akustische Analyse des Wasserfallgeräusches zu liefern. Je freier das Wasser in sein Becken fällt, je weniger der Ton durch Nebengeräusche getrübt wird, um so deutlicher tritt der C-Dur-Dreiklang hervor. Die Töne C, E, G und F, letzterer besonders ausgesprochen, wiederholen sich bei allen rauschenden Gewässern, bei grossen Wasserfällen oftmals in verschiedenen Oktaven.

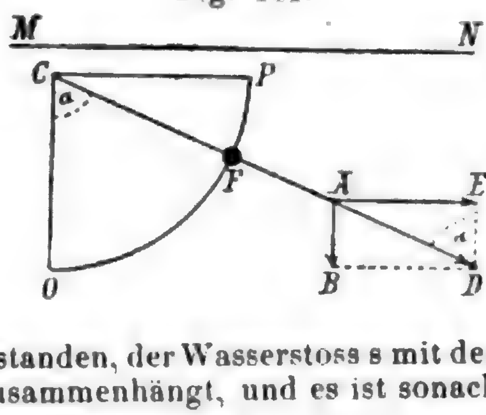
gestellt. Leider sind (vgl. S. 476) in dieser Hinsicht nur erst Anfänge zu verzeichnen*).

Eine der ersten und wichtigsten Fragen, welche die Hydrographie der Flüsse zu beantworten hat, ist die nach ihrer Strömungsgeschwindigkeit. Die Lösung der Aufgabe, Flussgeschwindigkeiten zu bestimmen, scheint sich zu allererst den Hydrotechnikern Italien's, des klassischen Landes der Stromregulirungen, als eine Nothwendigkeit aufgedrängt zu haben: Guglielmini [194], Zendrini [195], Michelotti [196], Lecchi [197] u. A. haben Anweisungen zu diesem Zwecke entworfen und ein reiches, der Praxis entnommenes Material angehäuft. Die Jetztzeit verfügt über mehrere Geschwindigkeitsmesser, die eine grosse Genauigkeit gewährleisten**). So entstand als besondere Disciplin die Hydrometrie. Bis in die Mitte dieses unseres Jahrhunderts herein begnügte man sich mit der sogenannten parabolischen Theorie, welche die Italiener begründet hatten, deren schliessliche Gestaltung aber dem niederländischen Mathematiker Hennert zu danken ist [205]. Elementar hat diese Theorie sehr hübsch Reis [206] darzustellen gewusst.

*) Für gewisse chinesische Flüsse sind interessante Bestimmungen durch Guppy geliefert worden, zu denen noch Beiträge von Mellard Reade hinzukommen [192]. Die drei grossen chinesischen Flüsse würden in etwa 100000 Jahren durch ihre Sedimente das ganze gelbe Meer ausfüllen können (vgl. S. 479). — Mit grosser Hingebung hat ferner ein Naturforscher ersten Ranges, Spring, die Schwemmprodukte der heimathlichen Maass quantitativ festgestellt [193]. Dieser Fluss führte im Laufe eines Jahres durch Lüttich hindurch 361 920 093 kg Festkörper, nämlich 238 191 417 kg suspendirte, 101 884 322 kg gelöste und 21 844 354 kg organische Substanzen.

**) Wer sich im Einzelnen über diesen Theil der Hydrotechnik unterrichten will, den verweisen wir auf die Werke von Engelbreit [198], Hunäus [199] und ganz besonders von v. Bauernfeind [200], an welch' letzteres wir uns selbst gehalten haben. Der primitivste und den meisten Fehlern ausgesetzte Messungsprocess ist derjenige der Schwimmkugel, welche man von einem Orte zum anderen treiben lässt, und von welcher man voraussetzt, dass sie sich genau mit der Geschwindigkeit des fliessenden Wassers selbst fortbewege. Höher steht der Stromquadrant, mit welchem die Italiener fast ausschliesslich arbeiteten. In Fig. 111 sei MN die Richtung der stärksten Strömung, der Quadrant OCP werde mit seinem Limbus in die durch MN bestimmte (die Papier-) Ebene gebracht; dann wird sein Bleiloth, das vorher längs des vertikalen Schenkels CO herabhieng, sowie der Quadrant mit Beibehaltung seiner Stellung in den Fluss eingetaucht ist, vom Strome um einen Winkel $OCF = \alpha$ abgelenkt werden. Konstruirt man das Kräfteparallelogramm EABD, so ist $\sphericalangle ADE = \alpha$, und es wird somit, wenn p das — im Wasser etwas geringer gewordene — Gewicht der Bleikugel darstellt, der Wasserstoss $s = AE = AB \cdot \tan\alpha = p \cdot \tan\alpha$ sein.

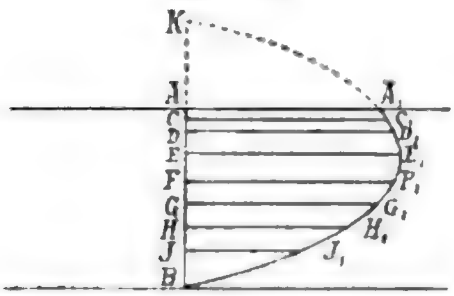
Fig. 111.



Die Hydraulik lehrt, dass, unter M eine Konstante verstanden, der Wasserstoss s mit der Geschwindigkeit v durch die Relation $s = Mv^2$ zusammenhängt, und es ist sonach $v = \sqrt{\frac{p}{M}} \cdot \sqrt{\tan\alpha}$. Wie man sich bei der Bestimmung von M zu verhalten habe, zeigt v. Bauernfeind ausführlich [201]. Die Pitot'sche Röhre [202] besteht ursprünglich aus einer rechtwinklig umgebogenen Glasröhre, in welcher das Wasser um so höher hinaufgetrieben wird, je geschwinder es fliesst. Endlich sind noch als sehr brauchbar die schon durch ihren Namen auch ihrem Wesen nach gekennzeichneten hydrometrischen Flügel von Woltman [203] und Amsler-Laffon [204] zu erwähnen.

Man nimmt dabei an, dass das Wasser sich, dasselbe vollständig ausfüllend, in einem parallelepipedischen Gerinne fortbewege, und zwar nach derjenigen Richtung hin, nach welcher ein überwiegender Druck ausgeübt wird. Im abwärts geneigten Gerinne wird dieser Druck durch das Gewicht des Wassers selbst erzeugt; ist h die senkrechte Entfernung der durch zwei Punkte des Stromes gelegten Horizontalebenen, so kommt nach einem bekannten Satze der Dynamik, wie auch immer das Flussbett gekrümmt sein möge, das Wasser am tiefer gelegenen Punkte mit einer Geschwindigkeit gleich $\sqrt{2gh}$ an. Natürlich sind dabei alle Bewegungshindernisse ausser Acht gelassen, vorab die Reibung, welche der Grösse des Gefälles umgekehrt proportional ist. Wie wir noch aus der Lehre von den Meeresströmungen wissen, reibt sich nicht blos die unterste Schicht am Boden, sondern es reiben sich die einzelnen Schichten an einander. Versuche lehrten, dass die Reibung nicht nur von der Länge, sondern auch von der Breite des Bettes abhängt und mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst. Die Reibung kann so gross werden, dass die Geschwindigkeit durch den Fall gar nicht mehr zunimmt, dass vielmehr die Zunahme der Fallgeschwindigkeit in den Reibungswiderständen absorbirt wird. Die Geschwindigkeit ändert sich dann nur bei Aenderungen des Querschnittes und des Wasserstandes*). Für die Geschwindigkeit der einzelnen Stromschichten ist folgendes Bild (Fig. 112) maassgebend. Zieht man eine Tiefenlinie AB und trägt in deren einzelnen Punkten C, D, E, F, G, H, J auf den dortselbst errichteten Perpendikeln Strecken AA_1, CC_1, DD_1, EE_1, FF_1, GG_1, HH_1, JJ_1 ab, welche den Geschwindigkeiten an den bezüglichen Stellen proportional sind, so liegen die Punkte A_1, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, H_1, J_1 auf einer Parabel, welche auch durch den Fusspunkt B geht. Von diesem Satze trägt die ältere Theorie ihren Namen. Führen wir die Zeichnung in der Art aus, dass wir die Parabel vollenden, bis sie in K die Linie AB ein zweitesmal trifft, so überzeugen wir uns durch den Augenschein, dass die Axe der Kurve nicht mit der Oberflächenlinie, sondern mit der tiefer gelegenen Linie EE_1 zusammenfällt, was der Luftreibung und der an der Oberfläche sich bildenden, aktuelle in potentielle Energie verwandelnden Flüssigkeitshaut (S. 379 dieses Bandes) zuzuschreiben ist. Diese Axe der Parabel führt den Namen Stromstrich; sie liegt in derselben Vertikalebene mit jener Kurve, welche wir auf S. 522 als Thalweg kennen gelernt haben. Bei verschiedenen Flüssen fällt selbstverständlich AE verschieden gross aus, bei'm Mississippi ist AE = 0,317 . AB.

Fig. 112.



Auf diesem Boden haben denn nun die Hydrauliker unseres Jahrhunderts rüstig weiter gearbeitet. In Deutschland wirkte Eytelwein [208], in Frankreich Prony [209], in Holland Delprat, über

*) Für Röhren und Kanäle sind die zwischen Reibung, Druckhöhe und Gefälle eine gesetzmässige Verbindung herstellenden Formeln von Weisbach angegeben worden [207].

dessen grosse und bei uns fast unbekannte Verdienste um die Förderung der fluviatilen Hydrodynamik die treffliche Biographie seiner dankbaren Freunde und Schüler aufklärt [210]. Den modernen Standpunkt zeichnet trefflich das fünfte Kapitel im „Handbuch des Wasserbaues" von Frantzius-Sonne, bearbeitet von Schmitt und betitelt „Voruntersuchungen über die Gewässer des Binnenlandes". Eine vielfach von den bestehenden Ansichten abweichende Darstellung der hydrodynamischen Grundgesetze ist von Heinemann (s. o. S. 422) gegeben worden [211]. Für diese theoretischen Arbeiten ausserordentlich nutzbringend haben sich die in grossartigem Umfange betriebenen Individualstudien des Mississippilaufes erwiesen, welche Humphreys und Abbot [212] betrieben haben*). Dieser Arbeit haben sich allmählig noch andere von ähnlicher Tendenz zugesellt**), und die Gelehrten sind zur Zeit damit beschäftigt, aus den ihnen massenhaft zufliessenden Thatsachen generelle Gesetze abzuleiten. Hervorragend sind besonders Harlacher's Messungen an der Donau und Elbe, vorgenommen im Auftrage des uns bereits aus der Meteorologie (S. 262) bekannten hydrographischen Landeskomité's für Böhmen [218]. Harlacher thut mit Hülfe neuer hydrometrischer Vorrichtungen dar, dass selbst in Flüssen, deren Querprofil eine möglichst günstige (rechteckige) Form besitzt, die Ortskurven der Punkte gleicher Stromgeschwindigkeit oder Isotachen weder der Gestalt noch der Lage nach eine leicht herauszufindende Regelmässigkeit bekunden, und dass auch unter normalen Verhältnissen die Wasserfläche niemals genau eine horizontale Ebene ist.

Eine tief eingehende analytische Studie über die Bewegung des Wassers in Flüssen, von der wir schon früher (S. 525) einige Proben anzuführen hatten, ist diejenige von Boussinesq, und da durch sie die schematischen Vorstellungen, welche man sich früher von der Bewegung der Wassertheilchen gemacht hat, vielfach modificirt und berichtigt werden, so müssen wir bei ihr noch einen Augenblick ver-

---

*) Diesen amerikanischen Ingenieuren zufolge wird, wenn d die Flusstiefe, u das arithmetische Mittel aus einer möglichst grossen Anzahl beobachteter Lokalgeschwindigkeiten, b den Ausdruck $1{,}69 \cdot \sqrt{d + 1{,}05}$ vorstellt, das Quadrat der mittleren Stromgeschwindigkeit v — in englischen Fussen — durch die Gleichung

$$v^2 = \sqrt{1{,}08\,u + 0{,}02\,b} - 0{,}045\,\sqrt{b}$$

dargestellt. Diese Formel gestattet das oben erwähnte Abschätzen der Wassermengen eines Flusses; man multiplicirt nämlich mit v die Grösse F eines senkrecht zum Stromstrich gelegten Querschnittes, und dieses Produkt Fv ist gleich dem in der Sekunde jenen Querschnitt passirenden Wasserquantum. Sollte der Querschnitt kein blos ideeller, sondern ein wirklich vorhandener Durchpass sein, so wäre die Contractio venae zu berücksichtigen. Andere Formeln für die Geschwindigkeit des Flusswassers giebt Heinemann an [213].

**) Wir nennen Belgrand's Untersuchungen über die Seine [214] und die von Lauterburg geleiteten Zusammenstellungen der hydrometrischen Beobachtungen in der Schweiz. Den unteren Ganges hat Cunningham zum Schauplatz eines ausgedehnten hydrographischen Forschungs-Unternehmens gewählt [215], und Aehnliches leistete Gordon für den Irawaddi [216], dem er auf die gemessenen Wassermengen hin einen grösseren Quellenbezirk, als ihm nach der allgemeinen Meinung zukommt, zuschreiben zu sollen glaubte. Von Zöppritz erfahren wir [217], dass für die badischen Flüsse, ähnlich wie für die schweizerischen, eine fortlaufende Statistik von Honsell veröffentlicht werden wird.

weilen [219]. Der treffliche Analytiker unterscheidet [220] grundsätzlich zwischen „rivières" und „torrents", zunächst allerdings nur mit Rücksicht auf die mathematische Bestimmbarkeit der Wirbel („remous de gonflement et d'abaissement"). Die Wirbelbewegung („action turbillonaire") wird als von drei verschiedenen Momenten abhängig erkannt [221]. Später nöthigen Boussinesq mathematische Erwägungen über die für die einzelnen Charaktere aufgestellten Grenzwerthe, noch eine Zwischenklasse einzuführen, und daraufhin modificirt er die ursprünglich gegebenen Definitionen, wie folgt [222]: „La première catégorie est la seule chez laquelle le liquide se relève très-graduellement, c'est-à-dire sans ressaut, aux endroits où une cause retardatrice, telle qu'un barrage, détruit le régime uniforme: c'est donc la seule qui mérite la dénomination de rivière. La seconde et la troisième comprennent, par suite, tous les cours d'eaux auxquels convient le nom de torrent; on peut les distinguer en appelant torrents de pente modérée ceux de la seconde catégorie et torrents rapides ceux de la troisième." Bei diesen letzteren darf die mathematische Betrachtung ohne Fehler die Krümmung der Stromfäden vernachlässigen. Später giebt der Autor noch ein weiteres Unterscheidungszeichen zwischen „état tranquille" und „état torrentueux" an [223]. Geophysikalisch interessant, namentlich für solche Aufgaben, wie sie uns das Phänomen der Karstseen (s. o. §. 1) stellt, ist die Bestimmung der Geschwindigkeit, mit welcher ein zu den unterirdischen Wasseransammlungen einer Gegend hinzukommender Zuwachs sich daselbst ausbreitet [224]. Was aber eben diese Einzelergebnisse erst recht fruchtbar, resp. überhaupt erzielbar macht, das ist die neue Auffassung, welche Boussinesq in die Lehre von der Flüssigkeitsreibung hineingetragen hat [225]. Ueberall da, wo bedeutende Geschwindigkeiten und Unregelmässigkeiten der Querschnitte den molekularen Zusammenhang der einzelnen Schichten aufheben, und abgerissene Flüssigkeitstheile eine besondere Wellen- und Wirbelbewegung für sich im Inneren der Flüssigkeit ausführen, ergeben sich Reibungswiderstände, weit stärker, als die durch die gewöhnliche molekulare Reibung veranlassten. Alle die zahlreichen Versuchsresultate, die Darcy und Bazin in ihrer mühsamen Experimentaluntersuchung über fliessende Gewässer ermittelten [226], sieht sich Boussinesq in der Lage durch Rechnung verificiren zu können. — Die Gestalt der Wasserfäden zu beiden Seiten des Stromstriches hat Möller neuerdings als gegen diesen letzteren symmetrische Spiralkurven bestimmt [227]. Diese Untersuchungen sind auch technisch von Bedeutsamkeit, namentlich weil bei der jetzt wieder sehr in den Vordergrund tretenden Frage der Kanalbauten vorhergehende theoretische Veranschlagungen über die Fortbewegung in diesen Kanälen nicht umgangen werden können *). Damit verlassen wir die Flüsse im

*) Die physikalischen Verhältnisse des projektirten Kanales von Darien schildert ein officieller Bericht des für denselben ernannten internationalen Ausschusses [228]. Für die deutschen Schifffahrtskanäle der Zukunft kommen mehr wirthschaftspolitische Gesichtspunkte in Frage, über welche sich der Statistiker Meitzen mit gewohnter Meisterschaft verbreitet [229]. Ein grossartiges System von Bewässerungskanälen hat seit 200 Jahren viele unfruchtbare Distrikte der Provence in ihr Gegentheil verwandelt; eine Charakteristik dieses Kanalnetzes und der bei Anlegung desselben bestimmend gewesenen Grundsätze gab Keller [230].

Allgemeinen*) und wenden uns noch einigen Besonderheiten im Flusslaufe zu.

§. 6. **Spezielle Flussbettgestaltungen.** Mit diesen lokalen morphologischen Verhältnissen des Flusslaufes und des Flussbettes hat sich besonders Peschel eifrigst beschäftigt. Seine und anderweite Untersuchungen zusammenfassend, können wir fünf der Diskussion besonders würdige Punkte herausheben.

a) **Der Bau der Ströme in ihrem Mittellaufe.** Peschel's feiner Blick leitete ihn bei der Abfassung dieses Abschnittes seiner „Probleme" [234] zu einer Erkenntniss, der er ungefähr den folgenden Wortausdruck verlieh: Jeder Seitenfluss sucht möglichst lange seine Vereinigung mit dem Hauptflusse hinauszuschieben und unter möglichst spitzem Winkel in diesen zu münden**). Diess führt zu einer neuen Eintheilung der Ströme in Querströme, welche ihren Lauf von der Erhöhung ihres Ursprunges aus auf möglichst kurzem Wege nach der Küste richten, und in Längsströme, welche der Longitudinalaxe eines grossen kontinentalen Gebirgszuges parallel laufen. Die letztere Gattung zerfällt wieder in zwei Unterarten, je nachdem die Nebenflüsse dem Längsstrom nur von einer oder von beiden Seiten zugehen.

b) **Mäanderbildungen.** Es ist von Peschel sehr treffend darauf hingewiesen worden, dass, sobald an irgend einer Stelle und aus irgend einer Ursache das Ufer von seiner geradlinigen Richtung abweicht, der Strom unausgesetzt daran arbeitet, den Krümmungshalbmesser der Biegung zu verkleinern, die Anzahl der Stromkniee zu vermehren und so den nach einem kleinasiatischen Flusse benannten Mäanderlauf herzustellen [236]. James Thomson hat diesen Vorgang einer genaueren theoretischen Untersuchung unterzogen [237], und Möller (s. o.) konnte sich nur bestätigend über die Ergebnisse seines Vorgängers äussern. Bei Flussbiegungen wird der Stromstrich nach dem

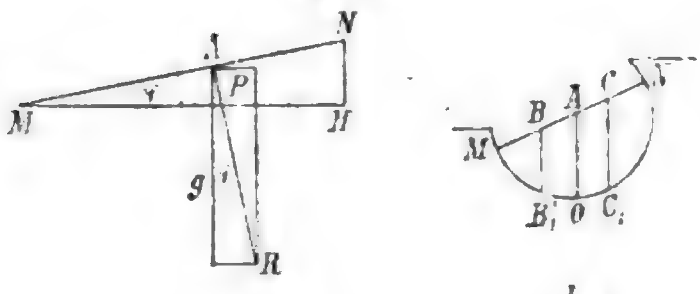
*) Fast in allen Lehrbüchern der tellurischen Physik, sogar in Munke's sonst so fleissigem Lexikon-Artikel „Strom", ist ein Gegenstand mit völligem Stillschweigen übergangen, der doch wahrlich nicht ganz bedeutungslos ist, nämlich die Temperatur der Flüsse. Wir wissen auch nur eine einzige darauf bezügliche Monographie zu nennen, diejenige von Hertzer [231]. Derselbe zieht aus langjährigen Beobachtungen diesen Schluss [232]: „Insoweit es sich um Zu- oder Abnahme der im Wasser enthaltenen Wärmemenge handelt, wird man die Berührung des Wassers mit der Luft, die Insolation und Wärmeemission, sowie die Berührung mit dem Boden als die wichtigsten Faktoren bezeichnen müssen, während sich als ein mehr formbestimmendes Element namentlich noch die Wärmekapazität des Wassers hinzugesellt." — Beobachtungen über Flusseis fehlen uns noch in bedauerlichem Maasse. Es wären solche nach den überaus umsichtig aufgestellten Normen anzustellen, nach welchen v. Sass alle physikalisch wichtigen Beziehungen für das baltische Küsteneis zu erforschen versucht hat [233].

**) Genau denselben Gedanken hat (s. S. 522) Boussinesq ausgedrückt, als er sagte, der Thalweg sei die Asymptote aller von den Thalhängen kommender Wasserläufe. Was in der Theorie asymptotisches Nebenherlaufen, das ist eben in der Praxis stark verzögerte Vereinigung. — Eine Ausnahme erleidet dieses Gesetz allerdings durch die Zeitwirkung, denn nach Näher [235] „gilt als ein hydrotechnischer Grundsatz: Wenn sich ein stark fallender, geschiebeführender Seitenfluss mit einem ruhiger fliessenden Hauptstrome verbindet, so wird er an der Ausmündungsstelle immer mehr nach aufwärts gedrängt." Beispiel: Das Delta des Neckar bei Mannheim.

konkaven Ufer gedrängt, weil die Centrifugalkraft ihn zu verlegen strebt, die Spiralbahnen auf dieser Seite (s. o. §. 5) degeneriren, bis die Wassertheilchen gar keine progressive Bewegung mehr zeigen, „und die ganze Wassermasse bewegt sich am konkaven Ufer in die Tiefe, am konvexen in die Höhe". Auf der einen Seite wird sonach vermehrte Erosion, auf der anderen vermehrte Sedimentablagerung eingeleitet *).

c) **Die Bär'sche Theorie.** Der auf zahlreichen Gebieten bewanderte russische Akademiker K. E. v. Bär glaubte einer Ursache auf die Spur gekommen zu sein, durch welche die Veränderung der Strombetten in ganz besonders hohem Grade beeinflusst werden sollte. Noch befangen in dem auf Seite 207 dieses Buches gekennzeichneten Irrthum des Hadley'schen Principes stellte er die folgende — von übereifrigen Bewunderern nicht glücklich als Bär'sches Gesetz promulgirte — These auf [239]: „Auf der nördlichen Halbkugel muss an Flüssen, die mehr oder weniger nach dem Meridian fliessen, das rechte Ufer das angegriffenere, steilere und höhere, das linke das überschwemmte und deshalb verflachte sein, und zwar in demselben Maasse, wie sie sich dem Meridian nähern." Sowohl die russischen Flüsse [240] als auch der Missouri [241] schienen v. Bär treffliche Bestätigungen seiner Regel zu liefern. Allein Zöppritz wies durch einfache Rechnung das Unzulässige von Bär's Argumentation nach [242]. Es ist nach S. 222 des ersten Bandes einzuräumen, dass auf unserer Halbkugel die Erdumdrehung eine Erhöhung des Wasserstandes um h auf der rechten Seite der Flüsse — aber nicht etwa blos der annähernd meridional fliessenden — bewirkt. Sei (Fig. 113 a) MN

Fig. 113.



a. b.

ein Vertikaldurchschnitt längs der Queraxe des Flusses, MH die Horizontalprojektion von MN, A ein zwischen M und N befindliches Wassertheilchen. Auf dieses wirkt die von der Rotation herrührende Deviation p horizontal, die Fallbeschleunigung g vertikal, die Diagonale des Kräfteparallelogrammes ist AR, und der von AR mit g gebildete Winkel φ ist $= \sphericalangle$ NMH. Man hat also tang $\varphi = p : g$, $NH = h =$

*) Die erste Theorie der Entstehung von Flussbiegungen enthält ein Bruchstück des Kant'schen Nachlasses „Von der Figur des Wasserbettes der Ströme" [238]. Den Möller'schen Satz, dass der Stromstrich sich dem einspringenden Ufer nähern müsse, hat Kant mit klarem Blicke anticipirt, nicht minder die oben erwähnte Thatsache von dem Wechselspiele zwischen Ablagerung von Sinkstoffen und Erosion. Einfache geometrische Ueberlegungen über die Böschungsverhältnisse führen zu dieser richtigen Anschauung.

b . tang φ. Rechnet man nach den a. a. O. gegebenen Formeln und setzt MH wieder = b, die Polhöhe = β, so wird b . tang φ = 0,00002981 . b . sin β. Für b = 1000 m, β = 90°, also unter ausserordentlich günstigen Umständen, wäre h = 3 cm, und eine solche Differenz ist aus den Beobachtungsfehlern nicht mehr herauszufinden. Aber, wendet man ein, das Flussbett selbst wird eine Aenderung seiner Lage erleiden. Wäre dasselbe eine Halbellipse, deren kleine Axe MN (Fig. 113,b) horizontal, deren grosse Halbaxe vertikal läge, so würde jene durch die Erdrotation im Sinne v. Bär's um einen kleinen Winkel seitwärts gedreht werden und der vertikale Radius Vektor AO würde nicht mehr mit derselben zusammenfallen; die äquidistanten Tiefen BB_1 und CC_1 würden sich also nicht mehr als gleich erweisen. Selbst die besten Bathometer würden aber unzureichend sein, um auch auf dem glattesten Boden die Differenz zu konstatiren. Nun wirken aber, wie wir durch Harlacher (s. o.) wissen, so viele Umstände zusammen, um das Querprofil der freien Wasseroberfläche krummlinig und geneigt zu machen, dass sich schon in jenen der Tiefenunterschied verlieren müsste. „Die Länge der Zeit, während welcher diese abgelenkte Schwerkraft gewirkt hat, kann hiebei gar nicht in Frage kommen, denn ebensolange wirken diese Unregelmässigkeiten" *).

d) **Die Lateralverschiebung der Flussufer.** Wenn auch nicht durch die Axendrehung, so wird doch durch andere minder entfernt liegende tellurische Ursachen häufig eine Veränderung der Flussbette bewirkt, welche deren genauester Erforscher, der ungarische Hydrotechniker Stefanović v. Vilovo ein seitliches Rücken nennt [246]. Bis jetzt ist diese Erscheinung vorwiegend an ungarischen Flüssen erkannt worden **).

---

*) Der Verf. hat die gesammte ihm bekannte und zugängliche Literatur über das Bär'sche Gesetz bereits bei einer früheren Veranlassung gesammelt und besprochen [243], so dass er sich näheren Eingehens auf die doch schon obsolet gewordene Sache hier überhoben halten darf. Es genüge zu erwähnen, dass Denzler, Schweinfurth, Peters, W. Schmidt und Benoni für, Buff, Dunker und Jarz gegen v. Bär sich erklärten. B. Hoffmann's Dissertation [244] kann als eine sachliche Erörterung der strittigen Punkte in einem der Bär'schen Regel wenig günstigen Sinne gelten. Weitaus am gründlichsten hat es mit der Widerlegung derselben Dunker genommen, dessen eine Arbeit [245] besonders die mechanischen Gesichtspunkte hervorhebt; von seinen anderen Arbeiten wird im nächsten Kapitel anlässlich der Thalbildung die Rede sein.

**) Als ersten Grund bezeichnet unsere Quelle die Ablagerungen von Sand und Gerölle an den Einmündungen der Nebenflüsse, wodurch der Hauptstrom gegen das der Mündungsstelle gegenüberliegende Ufer hingedrängt wird und dieses stärker angreift. Als zweiter Grund gilt ein für gewisse Zeiten regelmässig wehender Wind, die Koschava (S. 270), deren Bewegungsrichtung die mehr meridional fliessenden ungarischen Flüsse unter Winkeln zwischen 45° und 90° trifft. Durch ihre Dauerwirkung entstehen Stromserpentinen, deren Hauptaxen senkrecht auf der Stromrichtung stehen; diese Serpentinen werden momentan zwar wieder durch einen starken Andrang des Hochwassers zu Gunsten des geradlinigen Stromlaufes beseitigt, allein sofort bilden sich neue Kniee, und zudem verschütten die von der Koschava herzugeschleppten Sandmengen das Flussufer an der Windseite. Der Flugsand lagert sich bei'm Niederfallen in parallelen Riegeln, Semla's, welche zwischen sich gar kein Wasser dulden, und so muss das Flussbett immer mehr nachgeben. Die Donau wird von der Koschava nach Südwesten verschoben, während rechts Sandbänke sich aufschütten, die theils in Altwasser, theils in waldige Inseln verwandelt werden.

e) **Das zeitweilige Verschwinden der Flüsse.** Dass Flüsse in Höhlen verschwinden und erst weit davon entfernt wieder an das Tageslicht hervortreten, war bereits im Alterthum bekannt*). Der Mole in England und der Guadiana in Spanien haben einen auf kurze Strecken verdeckten Lauf [250]. Ganz besonders häufig und typisch aber ist diese Erscheinung im zerrissenen Karstlande. Die „Poik" z. B. verschwindet nach Frischauf's ortskundiger Schilderung [251] in der Poikhöhle bei Adelsberg, kommt bei Planina wieder aus einem See hervor an die Oberwelt, durchfliesst als „Unz" das Planina-Thal, verbirgt sich abermals unter dem Erdboden und strömt endlich bei Oberlaibach unter dem Namen „Laibach" als mächtige „Doue" (S. 580) wieder hervor. Dieser Fall ist jedoch in jener Gegend alles eher als ein vereinzelter; am bekanntesten ist das Verhältniss zwischen „Reka" und „Timavo". An den nördlichen Abhängen des Deli Orman, so erzählt v. Kanitz [252], entspringen zahlreiche Flüsse und Bäche, die sich zweifellos dereinst in die Donau ergossen, heutzutage aber grossentheils schon auf halbem Wege in dem mit Löss bedeckten Kalkboden verschwinden. Möglicherweise ist diess nur ein Uebergangszustand, aus welchem mit der Zeit Verhältnisse, wie sie heute in den Karstterritorien beobachtet werden, sich entwickeln.

§. 7. **Physikalische und geographische Vorbedingungen der Ueberschwemmungen.** Das regelmässig sich wiederholende Austreten des Nils mit seinen segensreichen Wirkungen für das Aegypterland reizte den Scharfsinn des Alterthums mehr, wie irgend ein anderes Problem der physischen Erdkunde. Durch Adolf Bauer's geschichtliche Studie [253] haben wir einen Einblick in dieses Labyrinth von Hypothesen bekommen. Herodot handelt von den Doktrinen des Thales, des Hekataeus, welche nachmals ein gewisser Euthymenes wieder aufnahm, und des Anaxagoras, die nach dem Zeugnisse der Tragiker in Attika Anklang fand. Die Meinungen des Demokrit und Oinopides hat uns Diodor überliefert, der in Gemeinschaft mit Aelius Aristides den Erklärungsversuch des Herodot, eine Art Anticipation der Schmick'schen Hypothese [254], bestritt. Dem Eudoxos war die Nilüberschwemmung nur eine Konsequenz der Gestalt der γῆ οἰκουμένη. Eratosthenes, der schon eine dunkle Kenntniss von dem Vorhandensein wasserreicher Zuflüsse aus Abessynien besass [255], und Agatharchidas brachten die Streitfrage zu einem vorläufigen, naturgemässen Abschlusse, und Pomponius Mela, Plinius, Seneca,

*) Plinius [247] liess den arkadischen Alpheus versinken, unter dem Meere hindurchgehen und in Sicilien wieder als Quelle Arethusa emporsprudeln. „Von Flüssen," sagt Berger bei Erwähnung des dem Tigris von Eratosthenes und Ammianus Marcellinus zugeschriebenen unterirdischen Laufes [248], „deren Bett streckenweise verborgen ist, von unterseeischen und unterirdischen Wasserverbindungen überhaupt ist in der alten Literatur von je her häufig die Rede." Der turkestanische Heri-Rud verliert sich als ächter Steppenfluss in Sümpfen; Lessar bemerkt nach Rawlinson, dass auch Ptolemäus von diesem Sachverhalte schon richtig gedacht habe, wogegen der Fabulist Ammian frischweg einen unterirdischen Kanal zwischen dem Flussende und dem kaspischen Meere in Scene setzte [249]. Die heillose Verwirrung, welche arabische Kartenzeichner in den afrikanischen Stromsystemen anrichteten, kommt theils auf die Rechnung der Annahme sonderbarer Bifurkationen, theils auf die der fest eingewurzelten Ueberzeugung von einem geheimen Zusammenhange zwischen Niger und Nil.

Lucanus folgten ihren Darlegungen, die zweifellos unangetastet geblieben wären, wenn nicht der Maure Juba wieder eine neue Theorie aufgestellt hätte. Isaak Vossius machte dem Hypothesenspiele in seiner schon mehrfach von uns citirten Monographie ein Ende, indem er die „ratio canonica pluviarum in Zona torrida“ ganz treffend begründete [256] und, wenigstens für den blauen Fluss, die Lage der Nilquellen näher bestimmte [257].

Die wissenschaftliche Theorie der Ueberschwemmungen als solcher ist ein Kind der Gegenwart; erst vor zwei Jahren erschien v. Sonklar's diesen Gegenstand selbstständig und allseitig behandelnde Schrift darüber [258]. Wenn wir die seismischen Fluthen als im vierten Kapitel der dritten Abtheilung und die Meeresfluthen als im vierten Kapitel der sechsten Abtheilung besprochen hier ausschliessen, so verbleiben uns blos die Ueberschwemmungen der Seen und diejenigen der Flüsse. Erstere haben nach v. Sonklar [259] eine vierfache Ursache, indem entweder der Zufluss zu stark anwächst, als dass das Seebecken ihn aufnehmen könnte, oder indem der Abfluss nicht gehörige Wasserquantitäten entführt, oder indem durch Stauung und Abdämmung ein See sich neu bildet oder endlich indem der Windstau die Wogen über das Gestade treibt. Bei den Flüssen sind drei primäre Ursachen vorhanden [260]: es kann durch Regen und schmelzenden Schnee das gewöhnliche Bett überfüllt werden, es können Gletscherseen und Abdämmungsseen anderer Art durchbrechen (Ueberschwemmungen des Oetzthales), es können endlich auch hier Störungen im Abflusse eintreten, „unter denen das Stocken des Eisganges, die Verlegung des Flussbettes durch Bergstürze und Muhrbrüche*) oder (bei tropischen Flüssen) durch Pflanzenbarren**) die wichtigsten sind“. Ektropische Flüsse und tropische Flüsse sind insoferne Gegensätze, als bei letzteren die Jahresüberschwemmungen etwas Natürliches, Periodisches sind, während sie bei ersteren einen anomalen Charakter, den der Katastrophe, tragen und eben so schädlich wirken, wie im anderen Falle — vgl. den Nil — segensreich.

Ueberblickt man die verschiedenen Momente, welche nach v. Sonklar einzeln oder kombinirt eine Ueberschwemmung bewirken können, so sieht man, dass Eine gemeinsame Ursache doch fast immer vorhanden ist: eine hohe Niederschlagsmenge. Mag man eine solche nun kosmisch***) oder tellurisch erklären — wir selbst würden uns für

*) Mit Rücksicht auf die Eröffnungen von P. Lehmann (s. o. §. 4) ist hier zweierlei auseinanderzuhalten: Ein niedergegangener Muhrgang wirkt selbst freilich als Stauvorrichtung und erzeugt so neue Ueberschwemmungen, allein er selbst ist doch auch wieder das Produkt einer Ueberschwemmung, die durch einen zu starken Zufluss von Regenwasser bewirkt ist.

**) Hierüber belehrt uns des Näheren Emin Bey [261]. Früher waren in den ostafrikanischen Flüssen weite Flächen üppig mit Schilf, Papyrusstauden und anderen Wassergewächsen bestanden. Diese Vegetation wurde grossentheils vom Flusse fortgerissen und staute sich an engen Stellen des Flussbettes auf, halbfeste, zum Theil auf ihrer Oberfläche gangbare Massen bildend, die auf eine Länge bis zu 1200m das Wasser verdecken und die Schifffahrt hemmen. Bekannt ist der traurige Ausgang, welchen vor etlichen Jahren eine ägyptische Bootexpedition nach dem Sennaar durch solche Pflanzenbarren genommen hat.

***) Falb hat eine Schrift [262] erscheinen lassen, worin er mit gewohnter Energie, jedoch leider nicht immer mit der seine früheren Publikationen auszeichnenden Exaktheit für die Abhängigkeit der grossen Ueberschwemmungen von

das Zweite entscheiden —, jedenfalls muss man die Thatsache selbst festhalten und darf nicht, wenn einmal eine Inundation über ein gewisses Gebiet grosses Unheil gebracht hat, nach allen möglichen und theilweise recht ferne liegenden Ursachen herumsuchen. Meisterhaft klar und bestimmt wird dieser Gesichtspunkt in der Denkschrift festgehalten, welche Honsell unlängst den Ueberschwemmungen der Rheinufer im Spätjahre 1882 gewidmet hat [265]. Weder hydrotechnische Versehen in der Uferregulirung, noch auch Entwaldungen in irgend einem Theile des rheinischen Quellenbeckens, noch endlich Aenderungen in den Wassermengen der Flüsse (S. 605) vermögen es zu erklären, dass damals das Hochwasser so rasch und plötzlich kam, wohl aber zeigt die Vergleichung der Rheinpegelstände mit den ombrometrischen Aufzeichnungen der Schwarzwald-Station Höchenschwand*), dass das Anwachsen des Stromes mit dem Anwachsen der Niederschlagsmengen genau gleichen Schritt gehalten hat. Dass natürlich nicht ganz allein der Regenfall für die Wassermenge der Ströme entscheidend ist, soll nicht bezweifelt werden; was für Faktoren dabei ihre Rolle spielen können, mag aus einer lehrreichen Arbeit von Pralle [266] ersehen werden.

Keine menschliche Voraussicht kann einem Ereignisse begegnen, welches im eigentlichsten Sinne eine Funktion atmosphärischer Veränderungen ist. Wohl aber kann Technik und Wissenschaft zweierlei thun: es ist bis zu einem gewissen Grade möglich, durch Korrektions-Arbeiten die Gefahr der einzelnen Ueberschwemmung abzuschwächen, und es ist in sehr hohem Grade möglich, durch ein wohlgeordnetes Warn-System, analog den Sturmprognosen (S. 300), die bedrohten Gegenden zur Anwendung geeigneter Vorsichtsmaassregeln zu befähigen**).

---

den Konstellationen der beiden unsere Erde am stärksten attraktiv beeinflussenden Himmelskörper plaidirt. — Auf einen ganz anderen Standpunkt stellt sich Reis [263]. Dieser Physiker hat mit anerkennenswerther Sorgfalt ein reiches statistisches Material, theilweise aus den Annalen des Mittelalters, zusammengebracht, und indem er die auf diese Daten begründeten Inundationskurven mit denjenigen der Sonnenflecke, der Polarlichter und der erdmagnetischen Elemente verglich, welch' letztere ja zweifellos etwas Gemeinsames in ihrem Gange haben (S. 33, S. 57), fühlte er sich zur Formulirung des an die Spitze seiner ganzen Untersuchung gestellten Satzes berechtigt: „Die höchsten und häufigsten Ueberschwemmungen des Rheingebietes finden um dieselben Zeiten statt, wie die Hauptmaxima erster Klasse der Sonnenflecke, der Nordlichter und der Erscheinungen des Erdmagnetismus, kehren also in Perioden von 110 bis 112 Jahren wieder.“ Solche statistische Vergleiche haben stets etwas Missliches, und es erscheint gewagt, wenn Reis, fast blos auf Rheinbeobachtungen sich stützend und seiner eigenen Aussage nach ausser Stande, das Hochwasser von 1480 seinem Systeme anzupassen, trotzdem eine astronomische Vorherbestimmung der Inundationen für möglich erklärt [264].

*) Honsell's Kurvenbilder stellen ohne weitere Kontrole den ungemein kräftig ausgesprochenen Parallelismus beider Erscheinungen vor das Auge.

**) Unter gewissen Umständen sind Kanalbauten angezeigt. Stefanović v. Vilovo, dem wir oben schon begegnet sind, setzt in seinem Werke über Stromkorrektion [267] auseinander, dass das Ausgraben neuer Bette für Ungarn's Flüsse, wie es Lanfranconi vorschlug, keinen rechten Nutzen schaffen könne, denn die Flussverlegung beruhe auf unveränderlichen Naturgesetzen (s. o. §. 6), und diese würden sich an den neu geschaffenen Rinnsalen bethätigen, wie an den alten. Der Stadt Szegedin z. B. sei endgültig nur mit einem Entwässerungsgraben zu helfen, der parallel der Theiss anzulegen wäre. Für Ungarn's „Strompathologie“, mit Peschel zu reden, sind übrigens auch Toula's sachkundige Artikel in der

[1] Gehler's Physikalisches Wörterbuch, 2. Aufl., 8. Band, Leipzig 1836. S. 713 ff. — [2] Gelcich, Grundzüge der physischen Geographie des Meeres, Wien 1881. S. 17 ff. — [3] Fritz, Die Veränderlichkeit der Wassermengen der Gewässer des Festlandes, Petermann's geogr. Mittheil., 1880. S. 245 ff. — [4] Wojeikoff, Schwankungen des Wasserspiegels der grossen amerikanischen Seen und des Ladoga-See's, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 16. Band. S. 287 ff. — [5] Die For-

---

„Wiener Abendpost" (Juni 1879) zu vergleichen. — Für jene Schutzarbeiten, die es nicht in erster Linie mit der Wiederbewaldung zu thun haben, sind literarische Handweiser jetzt in respektabler Anzahl und Inhaltlichkeit vorhanden. Zu nennen wären besonders die Denkschriften von Classen [268] und vom Verein deutscher Architekten und Ingenieure [269], ein Vortrag von Schlichting [270] und eine Abhandlung von Wollny [271], aus welch' letzterer wir vornämlich geschöpft haben. Man wird hiernach künftig bei der Entwässerung von Mooren und Sümpfen, durch welche doch immer eine Menge Feuchtigkeit gebunden wird, mit etwas grösserer Vorsicht zu verfahren haben, man wird die Grasdecke der Thalhänge sorgfältig schonen müssen, man wird zur Aufspeicherung des Wassers und Zurückhaltung der Geschiebemassen Reservoirs und Thalsperren, horizontale Sicker- und Fanggräben, wie sie Haag mit grossem Erfolge in der Rheinpfalz eingeführt hat, Terrassirungen zur Mässigung der Abflussgeschwindigkeit des Wassers, Schutzdämme, Schlickzäune u. dergl. anbringen. Bei den Thalsperren ist allerdings die von dem ungeheuren hydrostatischen Seitendruck herrührende Gefahr wohl zu beachten, denn wenn auch das schöne Wasserbecken von Verviers mit einem Inhalte von 12 300 000 cbm sich bisher vortrefflich bewährt hat, so wurden doch andererseits durch das Platzen des Sheffielder Behälters und neuerdings durch den Durchbruch einer Thalsperre in Algerien entsetzliche Verwüstungen angerichtet. Im Flachlande bewähren sich besonders die von Classen im Quellengebiete der Rezat und Altmühl erprobten Sammelweiher, für den Mittel- und Unterlauf der Ströme sind Eindeichungen am Platze. Im Hochgebirge leistet schon eine Vermachung der Sammelkanäle von Wildbächen durch Faschinenbau guten Nutzen; „besonders an perennirenden Bächen, welche viel feinen, thonigen und kalkigen Detritus führen, empfiehlt sich der Bau dieser Sperren, die dann bald verschlicken und lange widerstehen" [272]. Es ist, wie Lehmann darthut [273], auch mit unvollkommenen Mitteln gar nicht so schwer, Sperren gegen Muhrbruch herzustellen und zu sichern, es muss aber dabei immer grosse Vorsicht angewandt werden, denn nach A. Heim ist eine schlechte Sperre gefährlicher, als gar keine [274]. Alles in Allem gilt Wollny's Schlusswort [275]: „Auf dem wohlbemessenen Ausgleiche des zeitlich und örtlich auftretenden Mangels und Ueberflusses von Wasser beruht die regelmässige Wasserwirthschaft." — Den Einfluss der Entholzung hat man, wie schon Pfeil [S. 247] andeutete, wie aber Schlichting (a. a. O.) und Honsell neu betonen, oft allzusehr überschätzt, denn in gewissem Sinne begünstigt ja der Wald den Regenfall. Immerhin muss auf rationelle Anpflanzung der Hänge eifrig Bedacht genommen werden, wie Demontzoy [276], Wondrak [277] und v. Raesfeldt [278] im Einzelnen ausführen — Wondrak auch mit Verwahrung gegen den Wald-Sanguinismus. Nicht minder vorsichtig sind G. A. Koch's Thesen darüber, „welche Momente in der Bekämpfung der Wildbäche und Hochwasserbildung zu berücksichtigen wären," abgefasst [279]. — Die Vorausberechnung der Hochwasserstände stammt aus Frankreich, wo Laval und Belgrand (s. o.) vorangingen; Maas hat für die Elbe ein analoges Verfahren angewendet [280], und Sonne erörtert in einer für die hier in Rede stehenden Fragen höchst instruktiven Arbeit [281], wie mit der Zeit aus dem Verlaufe der Kurven gleicher Wassermengen das Eintreffen der Hochfluthwelle wird vorausbestimmt werden können. Nach Sonne hat der Hochwasser-Warnungsdienst, wie ihn hoffentlich das von Vielen angestrebte hydrographische Institut des Deutschen Reiches dereinst einrichten wird, viererlei Pflichten zu erfüllen [282]: „Die Anwendung und Vervollkommnung der Technik der Hochwasser-Prognosen, die Ausbildung des Hochwasser-Nachrichtendienstes, die Pflege der hydrometrischen Beobachtungen, die Errichtung hydrometrischer Haupt- und Centralstationen." Hirth macht die Mittheilung [283], dass die klugen Chinesen am Tai-hu-See ein ganz eigenthümliches System von Pegelaufzeichnungen eingerichtet haben, durch welches ein Austreten des See's vorher erkannt und zugleich der Nachtheil der Ueberschwemmung für die Felder der Adjacenten ziffermässig fixirt werden soll.

schungsreisen Miklucho Maklay's, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 10. Band. S. 107. — [6] R. Wolf, Biographieen zur Kulturgeschichte der Schweiz, 4. Cyklus. Zürich 1862. S. 258. — [7] Ibid. 2. Cyklus, Zürich 1859. S. 192. — [8] C. Lang. Ueber eine einfache Art, Thermometer zum Beobachten von Temperaturen in Brunnen, Flüssen und Seen zu montiren, Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met., 18. Band. S. 365 ff. — [9] Gehler's Phys. Wörterb., 8. Band. S. 741 ff. — [10] F. Pfaff. Notizen über Temperatur und Tiefe des Achensee's, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 6. Band. S. 206. — [11] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik. Wagner's geogr. Jahrbuch, 8. Band, Gotha 1881. S. 65; Die Fortschritte der Geophysik. ibid. 9. Band, Gotha 1883. S. 33 ff.; ibid. 10. Band, Gotha 1885. S. 43 ff. — [12] Geistbeck, Die Temperatur- und Eisverhältnisse der bayrischen Seen, Ausland, 1882. S. 963 ff. S. 1006 ff. — [13] Forel, Températures lacustres, recherches sur la température du lac Leman et d'autres lacs d'eau douce, Arch. des soc. phys. et nat., (3) Vol. IV. S. 89 ff. — [14] Geistbeck, Die Temp. etc., S. 1007. — [15] Simony, Ueber die Temperatur und Tiefe des Königssee's, Wien 1876; Tourist. 1882, Nr. 5 u. 6. — [16] Marinelli, La terra, Milano - Napoli - Roma - Firenze 1884. S. 451. — [17] Gehler, 8. Band. S. 724 ff. — [18] v. Steinberg, Gründliche Nachricht von dem im inneren Krain liegenden Czirknitzer See, Graz 1761. — [19] Gruber, Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts, Wien 1781. — [20] J. Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 242. — [21] P. W. Forchhammer, Der Kopais-See und seine Abzugskanäle, N. Jahrb. f. Min., Geogn., Geol. u. Paläont., 1837. S. 212 ff. — [22] Die Trockenlegung des Kopais-See's, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 339 ff. — [23] Graf Sczechenyi, Funde aus der Steinzeit im Neusiedler-See, Budapest 1876. — [24] Kircher, Mundus subterraneus, tomus I., Amstelodami 1664. S. 83 ff. — [25] Gehler, 8. Band. S. 731 ff. — [26] A. Boué, Ueber die unterirdischen Wasserläufe und Behälter und die Reinheit sowie Durchsichtigkeit gewisser Seen, dann über die wahrscheinliche Bildung von Seen überhaupt, Wien 1878. — [27] Strecker, Ueber die wahrscheinliche ältere Form des Wan-See's, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 4. Band. S. 549 ff. — [28] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878. S. 165 ff. — [29] Ibid. S. 175. — [30] Ueber die Entstehung des Baikal-See's, Naturforscher, 18. Jahrgang. S. 45. — [31] Peschel, N. Probl., S. 179. — [32] v. Sonklar, Allgemeine Orographie, Wien 1873. S. 164 ff. — [33] Vgl. [26]. — [34] R. Credner, Die geographische Vertheilung der Alpenseen, Verhandl. d. II. d. Geographent., Berlin 1882. S. 84 ff. — [35] Ibid. S. 90 ff. — [36] Davis, On the classification of the bassins, Proceed. of the Boston society of natural history, Vol. XXI. S. 315 ff. — [37] Beer, Die Eisseen im Alpengebiete, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 2. Jahrgang. S. 470 ff. — [38] Lüddecke, Ueber Moränenseen, Halle 1881. — [39] E. Richter, Recension hiezu, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 7. Band. S. 165. — [40] Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen, Leipzig 1882. S. 346. — [41] Ibid. S. 362. — [42] Penck, Der Alpsee bei Immenstadt, Der Tourist, 1883. — [43] Penck, Die Vergletscherung etc., S. 366 ff. — [44] Taramelli, Dell' esistenza dei lagi nel versante meridionale delle Alpe. in relazione coi baccini lacustri e dell' origine dei terrezze alluvionali, Venezia 1871. — [45] Stoppani, Geologia stratigrafica, Milano 1873. S. 632. — [46] E. Krause Die Paliken, Gaea, 5. Jahrgang. S. 198 ff. — [47] Löwl, Ein Profil durch den Westflügel der hohen Tauern, Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1881. S. 449. — [48] Modeen, Zur Hydrographie Finnland's, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Jahrgang. S. 38 ff. — [49] Gehler, 8. Band. S. 1233 ff. — [50] Guthe-Wagner. Lehrbuch der Geographie, 1. Theil, Hannover 1882. S. 473. — [51] H. J. Klein. An den Nordpol, Kreuznach 1870. S. 19. — [52] Drude, Bericht über die Fortschritte der Geographie der Pflanzen (1882, 1883), Wagner's geogr. Jahrb., 10. Band. S. 159. — [53] Ibid. S. 167. — [54] Kiepert, Ueber die Resultate von Livingstone's letzten Reisen, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 2. Band. S. 65. — [55] Marinelli, La terra, S. 460. — [56] Hunäus, Kurze Darstellung der orographischen hydrographischen und geognostischen Verhältnisse von Hannover, Hannover 1864. — [57] Grisebach, Ueber die Bildung des Torfes in den Emsmooren. Gottingen 1845. — [58] Salfeld, Die nordwestdeutschen und niederländischen Moore, Ausland, 1882. S. 467 ff. S. 483 ff. — [59] Virchow, Das Kehdinger Moor, (Thiel's) Landwirthsch. Jahrbücher, 1883. S. 83 ff. — [60] Jentzsch, Ueber die Moore der Provinz Preussen, Schriften d. phys.-ökon. Ges. für Königsberg, 19. Jahrgang. S. 91. ff. — [61] Ibid. S. 94. — [62] Dau, Ueber die Natur, Entstehung und Wiedererzeugung des Torfes, Leipzig 1723. — [63] v. Chamisso, Ueber den Torf. (Karsten's) Arch. f. Bergbau und Hüttenwesen, 11. Band. S. 1 ff. — [64] Früh. Torf

und Dopplerit, Zürich 1883. — [65] Clessin, Die Bildung der Torfmoore. Gaea, 12. Jahrgang. S. 656 ff. — [66] Blytt, Die Theorie der wechselnden kontinentalen und insularen Klimate, (Engler's) Jahrb. f. Bot., 2. Band, 1. u. 2. Heft. — [67] König, Untersuchungen zur Theorie der wechselnden kontinentalen und insularen Klimate, Kosmos, 7. Jahrgang. S. 283 ff. S. 337 ff. S. 418 ff. S. 481 ff. S. 574 ff. — [68] König, Moor und Torf, ibid. (2) 1. Jahrgang. S. 363 ff.; Blytt, Bemerkungen hiezu, ibid. S. 254 ff.; König, Entgegnung, ibid. S. 444 ff. — [69] Aristoteles, Meteorologia, lib. I. cap. 13. — [70] Nehring, Die geologischen Anschauungen des Philosophen Seneca, Wolfenbüttel 1876. S. 1 ff. — [71] Lucretius, De rerum natura, lib. VI. v. 633 ff. — [72] La composizione del mondo di Ristoro d'Arezzo, pubbl. da E. Narducci, Roma 1859. S. 80. — [73] Ibid. S. 83. — [74] Vitruvius. De architectura libri X, lib. VIII, cap. 1. — [75] Gehler's Phys. Wörterb., 2. Aufl., 7. Band, 2. Abth., Leipzig 1834. S. 1023 ff. — [76] Lersch, Hydrophysik oder die Lehre vom physikalischen Verhalten der natürlichen Wässer, namentlich von der Bildung der kalten und warmen Quellen, Berlin 1865. — [77] v. Sonklar, Allgem. Orogr., S. 145 ff. — [78] Seidel, Ueber den inneren Zusammenhang, welcher zwischen der Häufigkeit der Typhuserkrankungen in München und dem Stande des Grundwassers während der letzten 9 Jahre hervortritt, Zeitschr. f. Biologie, 1. Band. S. 221 ff.; Vergleichung der Schwankungen der Regenmenge mit der Häufigkeit des Typhus in München, 2. Band. S. 145 ff. — [79] Liznar, Ueber die periodischen Aenderungen des Grundwasserstandes, Gaea, 17. Jahrgang. S. 330 ff. — [80] v. Sonklar, Der Schwemmkegel von Innsbruck und die Grundwasserverhältnisse desselben, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 114. ff. — [81] Lueger, Theorie der Bewegung des Grundwassers in den Alluvionen der Flussgebiete, Stuttgart 1883. — [82] Thiem, Das Wasserwerk der Stadt Nürnberg, Leipzig 1879. S. 9 ff. — [83] Ibid. S. 26. — [84] Lersch, Hydrophysik, S. 82. — [85] Schubring, Eine neue Quellenbezeichnung, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 2. Band. S. 184. — [86] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 147. — [87] Oeuvres de Mariotte, tome II., Leide 1717. S. 333 ff. — [88] Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 2. Band, Leipzig 1881. S. 290. — [89] Gehler, 7. Band. S. 1029 ff. — [90] De la Métherie, Theorie de la terre, tome II., Paris 1797. S. 259 ff. — [91] J. Vossius, De Nili et aliorum fluminum origine, Hagae Comitum 1656. S. 15. — [92] Ibid. S. 17 ff. — [93] Volger, Die wissenschaftliche Lösung der Wasser- insbesondere der Quellenfrage, Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, 21. Band. S. 481 ff. — [94] Mohr, Dr. Gtto Volger's neue Theorie des Quellen- und Bodenwassers, Gaea, 14. Jahrgang. S. 578 ff. — [95] Sonntag-Jarz, Beitrag zu Dr. Otto Volger's neuer Quellenlehre, ibid. 16. Jahrgang. S. 320 ff. — [96] Hann, Bemerkungen über die neuen Quellentheorieen, ibid. 16. Jahrgang. S. 469 ff.; Noch einige Worte über die physikalische Unzulässigkeit der Volger'schen Quellentheorie, 17. Jahrgang. S. 83 ff. — [97] Wollny, Kritik zu Volger's Vortrag, Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 2. Band. S. 51 ff. — [98] Lersch, Hydrophysik, S. 113. — [99] Ibid. S. 123 ff. — [100] Vitruvius, De arch., lib. VIII. cap. 3. — [101] Lersch, Hydroph., S. 127. — [102] Ibid. S. 139 ff. — [103] C. Plinii Secundi historiae naturalis libri XXXVII, lib. II. cap. 103. — [104] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band. S. 293. — [105] Lersch, Hydroph., S. 145. — [106] Knop, Ueber die hydrographischen Beziehungen zwischen der Donau und der Aachquelle im badischen Oberlande, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1878. S. 350 ff. — [107] Leuze, Die chemische Beschaffenheit und die geologische Wirkung des Quellwassers, Korrespondenzbl. f. d. Gel.- u. Realschulw. Württemberg's, 30. Jahrgang. S. 479 ff. — [108] Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, 2. Band, Halle 1834. S. 219 ff. — [109] Klutschak, Als Eskimo unter den Eskimo's, Wien-Pest-Leipzig 1881. S. 160 ff. — [110] A. v. Schlagintweit, Ueber die Temperatur des Bodens und der Quellen in den Alpen, Ann. d. Phys. u. Chem., 4. Ergänzungsband. S. 59 ff. — [111] Emsmann, Abbé Paramelle, der Quellenfinder, Gaea, 2. Jahrgang. S. 136 ff. — [112] Paramelle-v. Cotta, Quellenkunde, Leipzig 1856. — [113] Gehler, 7. Band. S. 1099 ff. — [114] Uebelacker, Systematische Beschreibung des Carlsbader Sinter's, Erlangen 1780. — [115] Struve, Künstliche Mineralwässer, Dresden und Leipzig 1825—26. — [116] G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, 1. Band, Bonn 1863. S. 230 ff. — [117] Steffens, Geognostische und geologische Aufsätze, Hamburg 1810. S. 322 ff. — [118] Gehler, 8. Band. S. 193. — [119] Lersch, Hydroph., S. 50 ff. — [120] Lyell, Die heissen Quellen mit besonderer Berücksichtigung der Thermen, Gaea, 1. Jahrgang. S. 510 ff. — [121] Lersch, Hydroph., S. 101 ff. — [122] Streng, Der Bauerngraben oder Hungersee, Beitrag zur physikalischen Geographie des Harzes, Petermann's geogr. Mittheil., 1864.

S. 43 ff. — [123] Gehler, 7. Band. S. 1070. — [124] Lersch. Hydroph., S. 147 ff. — [125] Cartheuser. Rudimenta hydrologiae systematicae, Francofurti a. V. 1758 — [126] Lersch, Hydroph., S. 234. — [127] Palissy, Discours admirable de la nature des eaux et fontaines tant naturelles qu'artificielles, Paris 1580. — [128] D. Cassini, De fontium Mutinensium admiranda scaturigine tractatus physico-hydrostaticus, Mutinae 1691. — [129] Ludmann, Der intermittirende artesische Springbrunnen des Ránk-Herleiner Bades in Oberungarn, Petermann's geogr. Mittheil., 1871. S. 426 ff. — [130] Henrich, Beitrag zur Theorie der intermittirenden kohlensäurehaltigen Quellen, Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, 27. Band. — [131] Lersch, Hydroph., S. 236. — [132] Dove, Ueber Eiszeit, Föhn und Scirocco, Berlin 1867. S. 115 ff. — [133] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara. 2. Theil, deutsch von Vogt, Jena 1872. S. 296 ff. — [134] Thiem, D. Wasserw. etc., S. 23. — [135] Gehler's Phys. Wörterb., 9. Band, 3. Abth., Leipzig 1840. S. 2342. — [136] Olafsen-Povelsen, Rejse igjennem Island, deutsch von Geuss, Kopenhagen 1774—75. — [137] Mackenzie, Travels in Iceland, London 1811, deutsch, Weimar 1815. — [138] Sartorius v. Waltershausen, Physikalisch-geographische Skizze von Island, Göttingen 1847. — [139] Bunsen, Physikalische Beobachtungen über die hauptsächlichsten Geisir Island's, Ann. d. Phys. u. Chem., 72. Band. S. 159 ff. — [140] O. Lang, Ueber die Bedingungen der Geysir, Gött. Gel. Nachr., 1880. S. 225 ff. — [141] Bischof, Lehrbuch etc., 1. Band, S. 190 ff. — [142] J. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik, Braunschweig 1875. S. 573 ff. — [143] Gehler, 9. Band. S. 2344. — [144] J. Müller, Lehrbuch etc., S. 577. — [145] v. Hochstetter, Neuseeland, Stuttgart 1863. S. 251 ff. — [146] Vogt, Gelegentlich v. Hochstetter's Geologie Neuseeland's, Gaea, 2. Jahrgang. S. 74. — [147] J. Müller, Lehrbuch etc., S. 586 ff. — [148] Krug zur Nidda, (Karsten's) Archiv f. Bergbau u. Hüttenw., 9. Band. S. 259 ff. — [149] Lang, Ueber die Bed. etc., S. 278. — [150] J. Müller, Lehrbuch etc., S. 580. — [151] Treutlein, Bericht über die Thätigkeit der mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektion der 36. Versammlung deutscher Philologen und Schulmänner zu Karlsruhe, Zeitschr. f. math. u. nat. Unterricht, 14. Jahrgang. S. 78 — [152] Lang, Ueber die Bed. etc., S. 239. — [153] Ibid. S. 260 ff. — [154] Ibid. S. 274. — [155] Zöppritz, Die Fortschr. etc., 9. Band. S. 35. — [156] Jameson, On a courious phenomenon observed in the island of Cephalonia and on the proximate causes of earthquakes, Edinb. New Phil. Journal, Vol. XX. S. 116 ff. — [157] Mousson, Ein Besuch auf Corfu und Cefalonia im September 1858, Zürich 1858. S. 40 — [158] Unger, Wissenschaftliche Ergebnisse einer Reise in Griechenland und den jonischen Inseln, Wien 1862. — [159] Ansted, On some curiosities of physical geography at the Jonian Islands, Rep. on the British Association, Newcastle 1863. S. 133 ff. — [160] K. M. u. W. Wibel, Die Insel Kephalonia und die Meermühlen von Argostoli, Versuch einer Lösung dieses geophysikalischen Räthsels, Hamburg 1873. — [161] Ibid. S. 107 ff. — [162] Ibid. S. 116. — [163] Mousson, Ein Besuch etc., S. 83. — [164] Wibel, Die Insel etc., S. 121 ff. — [165] Magnus, Ueber die Bewegung der Flüssigkeiten, Abh. d. k. pr. Ak. d. Wissensch., Phys. Kl., 1835. S. 135 ff. — [166] v. Feilitzsch, Ueber den Ausfluss von Flüssigkeiten aus Oeffnungen in dünnen Wänden und aus kurzen Ansatzröhren, Ann. d. Phys. u. Chem., 63. Band. S. 215 ff. — [167] W. Eisenlohr, Lehrbuch der Physik, Stuttgart 1870. S. 168. — [168] v. Sonklar, Allgem. Orogr., S. 147 ff. — [169] v. Helmersen, Beitrag zur Kenntniss des geologischen und physikalisch-geographischen Verhaltens der aralo-kaspischen Niederung, Bull. de l'ac. imp. de St.-Pétersbourg. tome XXV. S. 534 ff. — [170] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band. S. 369 ff. — [171] P. Lehmann, Die Wildbäche in den Alpen, eine Darstellung ihrer Ursachen, Verheerungen und Bekämpfung als Beitrag zur physischen Geographie, Breslau 1879. — [172] J. Vossius, De Nili etc., S. 18 ff. — [173] Zallinger zum Thurn, De causis et remediis inundationum in Tiroli, Oenoponti 1778; Von d. Ueberschwemmungen im Tyrol, Innsbruck 1879. — [174] v. Schrank, Sammlung naturhistorischer und physikal. Aufsätze, Nürnberg 1796. — [175] Fabre, Essai sur la théorie des torrens et des rivières, Paris 1797. — [176] Lehmann, Die Wildbäche etc., S. 3. — [177] Ibid. S. 8. — [178] Chavanne, Afrika's Ströme und Flüsse, ein Beitrag zur Hydrographie des dunklen Erdtheils, Wien-Pest-Leipzig 1882. — [179] Guthe-Wagner, Lehrb. etc., 1. Band, S. 237. — [180] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 153. — [181] Gehler, 8. Band. S. 1192. — [182] Zöppritz, Die Fortschr. etc., 10. Band. S. 46. — [183] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 155 ff. — [184] Gehler, 8. Band. S. 1196 ff. — [185] F. Pfaff, Das Wasser, München 1870. S. 130 ff. — [186] Pechuël-Lösche, Der Oberlauf des Congo, Verhandl. d. II. d. Geographent., Berlin 1883. S. 19. — [187] Ein Wasserfall ersten Ranges in Britisch-

Guyana, Petermann's geogr. Mittheil., 1871. S. 279 ff. — [188] Notes, Nature, Vol. XVII. S. 109. — [189] A. Heim, Töne der Wasserfälle, Verhandl. d. Schweiz. naturf. Ges., Schaffhausen 1874. S. 209 ff. — [190] v. Sonklar, Allgem. Orogr., S. 162 ff. — [191] Forel, Comparaison du débit annuel moyen du Rhône à Genève avec la hauteur moyenne annuelle de l'eau météorique, Bull. de la soc. Vaud. des sciences natur., Vol. X. S. 445 ff. — [192] Guppy, The banks of the Yang-tse at Hankow, Nature, Vol. XXIII. S. 507 ff.; ibid. Vol. XXV. S. 584; Mellard Reade. ibid. Vol. XX. S. 559 ff.; ibid. Vol. XXIII. S. 35 — [193] Untersuchungen über das Wasser der Maas, Naturforscher, 18. Jahrgang. S. 9 ff. — [194] Guglielmini, Aquarum fluentium mensura nova methodo inquisita, Bononiae 1690—91. — [195] Zendrini, Considerazione sopra la storia naturale dell' acque correnti, Ferrara 1717. — [196] Michelotti, Sperimenti idraulici diretti principalmente a confermare la teorica e facilitare la pratica del misurare le acque correnti, Torino 1767. — [197] Lecchi, Memorie idrostatiche, Modena 1775. — [198] Engelbreit, Die Instrumente der höheren und niederen Geodäsie und der Hydrometrie, Nürnberg 1852. — [199] Hunäus, Die geometrischen Instrumente, Hannover 1868. — [200] v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, 1. Band, Stuttgart 1879. S. 518 ff. — [201] Ibid. S. 524 ff. — [202] Pitot, Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux, Paris 1732. — [203] Woltman, Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels, Hamburg 1791, 2. Aufl., Leipzig 1835. — [204] v. Bauernfeind, Elemente etc., S. 546 ff. — [205] Hennert, Versuch einer Theorie über die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen, (Hindenburg's) Archiv der reinen und ang. Mathem., 1. Band. S. 1 ff. S. 129 ff. — [206] Reis, Lehrbuch der Physik, Leipzig 1873. S. 153 ff. — [207] Weisbach, Untersuchungen im Gebiete der Mechanik und Hydraulik, Freiberg 1842—43; Die Experimentalhydraulik, ibid. 1855. — [208] Prony, Résumé de la théorie et des formules relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux et les canaux, Paris 1825. — [209] Eytelwein, Praktische Anleitung zur Wasserbaukunst. Berlin 1802 bis 1808; Michelotti's hydraulische Versuche, deutsch, mit Anmerkungen, ibid. 1811. — [210] De Bordes-Hojel-van den Berg, Het leven en de werken van den Generaal-Major Dr. J. Delprat, overgedrukt at het Tijdskrift van het kon. Institut van Ingenieurs, 1882—83. S. 15 ff. S. 20 ff. S. 23 ff. S. 30 ff. — [211] Heinemann, Die Rationaltheorie der Bewegung des Wassers als Lehrbuch der Hydrodynamik, Hagen 1872. — [212] Humphreys-Abbot, Report on the physics and hydraulics of the Mississippi River, Philadelphia 1861. — [213] Heinemann, Die Rationaltheorie etc., S. 115 ff. — [214] Belgrand, La Seine; régime de la pluie, des sources, des eaux courantes, Paris 1873. — [215] Cunningham, Roorkee hydraulic experiments, Roorkee 1881. — [216] Gordon, Report on the Irawaddi River, Rangoon 1879. — [217] Zöppritz, Die Fortschr. etc., 10. Band. S. 47. — [218] Harlacher, Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden des Verfassers, Leipzig 1881. — [219] Boussinesq, Essai sur la théorie des eaux courantes, Mém. prés. par divers savants, Vol. XXIII. S. 1 ff. — [220] Ibid. S. 8 ff. — [221] Ibid. S. 47 ff. — [222] Ibid. S. 207 ff. — [223] Ibid. S. 291. — [224] Ibid. S. 359. — [225] Ibid. S. 30 ff. — [226] Darcy-Bazin, Expériences hydrauliques, Mém. prés. etc., Vol. XIX. S. 1 ff. — [227] Zöppritz, Die Fortschr. etc., 8. Band. S. 45. — [228] Wyse-Reclus-Sosa, Rapports sur les études de la commission internationale d'exploration de l'Isthme américain 1877—78, Paris 1879. — [229] Meitzen, Zur Frage des Kanalbaues in Preussen, Leipzig 1885. — [230] Keller, Die Bewässerungskanäle Südfrankreich's, Humboldt. 2. Jahrgang. S. 174 ff. — [231] Hertzer, Ueber die Temperatur der Flüsse, Wernigerode 1865. — [232] Ibid. S. 22. — [233] v. Sass, Untersuchungen über die Eisbedeckung des Meeres an den Küsten der Inseln Oesel und Moon, Mél. phys. et chim. tirés du bull. de l'ac. imp. de St.-Pétersbourg, Vol. VI. S. 477 ff. — [234] Peschel, Neue Probl., S. 141 ff. — [235] Näher, Ueber den Kulturzustand des oberen Rheinthales zur Römerzeit, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 2. Jahrgang. S. 179. — [236] Peschel-Leipoldt, Phys. Erdk., 2. Band. S. 389 ff. — [237] J. Thomson, On the origin of windings of rivers in alluvial plains, Proceed. of the r. society, Vol. XXV. S. 5 ff.; Experimental demonstration in the respect to the origin of windings of rivers in alluvial plains, ibid. Vol. XXVI. S. 356 ff. — [238] Kant's Schriften etc., S. 790 ff. — [239] v. Bär, Ueber ein allgemeines Gesetz in der Gestaltung von Flussbetten, Bull. de l'ac. impér. de St.-Pétersbourg, 1860, II. S. 3. — [240] Ibid. S. 26 ff. — [241] Ibid. S. 35 ff. — [242] Zöppritz, Ueber den angeblichen Einfluss der Erdrotation auf die Gestaltung von Flussbetten, Verhandl. d. II. d. Geographent., Berlin 1882. S. 50 ff. — [243] Günther, Die sichtbaren und fühlbaren Wirkungen

der Erdrotation, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 364 ff. — [244] B. Hoffmann, Das Bär'sche Gesetz, Halle 1878. — [245] Dunker, Ueber den Einfluss der Erdrotation auf den Lauf der Flüsse. Zeitschr. f. d. ges. Naturw., (2) 11. Band. S. 433 ff. — [246] Stefanović v. Vilovo, Das seitliche Rücken der Flüsse, Ausland, 1876. S. 455 ff.; Ueber das seitliche Rücken der Flüsse, Wien 1881; Die Seitenverschiebung der Flüsse und ihre Ursachen, Gaea, 17. Jahrgang. S. 705 ff. — [247] Plinius, lib. II. cap. 103; lib. V. cap. 9. — [248] H. Berger, Die geographischen Fragmente des Eratosthenes, Leipzig 1880. S. 226. — [249] Lessar, Second journey in the Turkoman country, Proceed. of the Royal Geogr. Society, 1883. S. 1 ff. — [250] Gehler, 8. Band. S. 1215. — [251] Frischauf, Gebirgsführer durch die österreichischen Alpen, Oestlicher Theil, Wien 1883. S. 277 ff. — [252] v. Kanitz, Rivières desséchées de la Dobroudcha, Bull. de la soc. de géogr., 1879. S. 271 ff. — [253] Ad. Bauer, Antike Ansichten über das plötzliche Steigen des Nil, Histor. Untersuch. (Sammelschrift), Bonn 1882. S. 70 ff. — [254] Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, Halle 1879. S. 132. — [255] Berger, Die geogr. Fragm. etc., S. 305. — [256] Vossius, De Nili etc., S. 32 ff. — [257] Ibid. S. 59 ff. — [258] v. Sonklar, Von den Ueberschwemmungen, enthaltend allgemeine Beschreibung, Chronik der Ueberschwemmungen und Mittel der Abwehr, Wien-Pest-Leipzig 1883. — [259] Ibid. S. 26. — [260] Ibid. S. 39. — [261] Emin Bey, Die Strombarren des Bahr el Djebel, Petermann's geogr. Mittheil., 1879. S. 273 ff. — [262] Falb, Wetterbriefe; meteorologische Betrachtungen mit besonderer Bezugnahme auf die periodischen Ueberschwemmungen im Jahre 1882, Wien-Pest-Leipzig 1883. — [263] Reis, Die periodische Wiederkehr von Wassersnoth und Wassermangel im Zusammenhang mit den Sonnenflecken, den Nordlichtern und dem Erdmagnetismus, Leipzig 1883. — [264] Reis, Die 110jährige Periode der Hochwasser und des allgemeinen Witterungscharakters, Humboldt, 3. Jahrgang. S. 174. — [265] Honsell, Die Hochwasser-Katastrophen am Rhein im November und December 1882, Berlin 1883. — [266] Pralle, Beitrag zur Bestimmung des durch die Flüsse abgeführten Theiles der Niederschlagsmengen, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, 1877. S. 77 ff. — [267] St. v. Vilovo, Ungarn's Stromregulirungen, Wien 1883. — [268] Classen, Denkschrift betreffend die Ursachen und Folgen der jähen Ueberschwemmungen und die Mittel zu deren Beseitigung, Ansbach 1876. — [269] Frauenholz-Garbe, Denkschrift betreffend die bessere Ausnützung des Wassers und die Verhütung der Wasserschäden, München 1883. — [270] Schlichting, Ueber die Mittel, den Ueberschwemmungen unserer Flussläufe vorzubeugen, Vortrag geh. im Verein f. Fluss- und Kanalschifffahrt am 25. April 1883. — [271] Wollny, Die Hochwasserschäden und deren Verhütung in Rücksicht auf die Bodenkultur, Zeitschrift d. landwirthsch. Vereins in Bayern, 73. Jahrgang. S. 554 ff. — [272] P. Lehmann, Die Wildbäche etc., S. 95. — [273] Ibid. S. 98 ff. — [274] A. Heim, Ueber Korrektion von Gebirgswässern, Jahrb. d. schweiz. Alpenklubs, 6. Band. S. 329 ff. — [275] Wollny, Die Hochwasserschäden etc., S. 561. — [276] Demontzoy, Studien über die Arbeiten zur Wiederbewaldung und Berasung der Gebirge, deutsch von v. Seckendorf, Wien 1881. — [277] Wondrak, Bewaldung und Hochwasser, Jahrb. d. d. u. öst. Alpenver., 14. Band. S. 70 ff. — [278] v. Raesfeldt, Die Wildbachverbauung und Aufforstung in den deutschen Alpen, ibid. 14. Band. S. 431 ff. — [279] G. A. Koch, Die Ursachen der Hochwasser-Katastrophe in den Südalpen, ibid. 14. Band. S. 166 ff. — [280] Maas, Ueber die Vorausberechnung des Wasserstandes der Ströme, insbesondere des Wasserstandes der Elbe bei Barby, Zeitschr. f. Bauwesen, 1881. S. 25 ff. — [281] Sonne, Ueber Hochwasser-Vorausberechnungen (Hochwasser-Prognosen), Berlin 1884. — [282] Ibid. S. 20. — [283 Hirth, Reise nach dem grossen See bei Su-chou, (Bremer) Geogr. Blätter, 7. Band. S. 280 ff.

Kapitel V.

Allgemeine Morphologie der Erdoberfläche.

§. 1. **Definition des Wortes Morphologie.** Schon mehrfach haben wir uns dahin ausgesprochen, dass zwischen Morphographie und Morphologie ein scharfer Unterschied zu machen sei. Erstere Disciplin trägt einen deskriptiven, einen naturgeschichtlichen Charakter, letztere gehört zu den exakten Wissenschaften oder strebt doch wenigstens energisch dahin, sich der Aufnahme unter jene würdig zu erweisen*).

Unsere Begriffsbestimmung wird sofort einleuchtend, wenn wir als das in diesem Kapitel zu erreichende Ziel festsetzen: Genetische Erklärung der gegenwärtigen Oberflächenbeschaffenheit unseres Erdkörpers. Das von G. K. Gilbert in seiner auf Veranlassung der geologischen Aufnahme des Unionsgebietes bearbeiteten „Geology of the Henry Mountains" gebrauchte treffende Wort Landskulptur**) besitzt einen ganz analogen Sinn.

Alle die Einzelgesetze, deren Entwickelung uns bisher beschäftigte, kommen für die morphologische Forschung in ernste Frage. Selbstverständlich mussten schon früher einzelne hierher gehörige Fragen berührt werden; die zerstörende Wirkung der Winde, die Erosions- und Abrasions-Arbeit der Meereswoge, die bei der Bildung und Verlegung von Seebecken und Wassergerinnen thätigen Kräfte haben bereits ihre Erörterung gefunden. Was uns an dieser Stelle noch besonders obliegt, das ist die Theorie der Gebirgs- und Thalbildung, der Entstehung von Tiefländern und Steppen, soweit hiebei weder vulkanische, seismische und marine, noch auch die — unsicheren — glacialen Wirkungen, sondern ausschliesslich tektonische und erosive Agentien in Betracht kommen. Die allgemeine Morphologie ist nicht allein ein hervorragend wichtiger Theil der Erdphysik, sondern auch eine unentbehrliche und noch zu wenig gewürdigte Hülfswissenschaft für den Historiker, der erst mit ihrer Unterstützung nicht selten Klarheit in die anscheinend widerspruchsvollen Berichte alter Quellen zu bringen vermag***).

---

*) Das zweite Kapitel dieser achten Abtheilung kennzeichnet in seinem Verhältnisse zum fünften ziemlich genau den Gegensatz zwischen Morphographie und Morphologie.

**) Der Ausdruck ist, in etwas allgemeinerer Beziehung, soweit wir sehen, zuerst von Geikie gebraucht worden [1].

***) Ganz klar fasste dieses Verhältniss schon Strabon auf. Ein ganz in Strabon's Geist gearbeitetes Literaturerzeugniss unserer Zeit sind Th. Fischer's „Beiträge zur physischen Geographie der Mittelmeerländer", aus denen wir häufig zu schöpfen veranlasst waren. Ferner nennen wir eine sehr werthvolle Programmabhandlung von Wimmer [2]; ein gelungener Versuch liegt hier vor, die grossen Züge der Aehnlichkeit im Aussehen der klassischen Oertlichkeiten sonst und jetzt aus einer Fülle von Verhüllungen herauszuheben. Natürlich kann ein solcher Versuch niemals mit apodiktischer Sicherheit unternommen werden; wenn z. B. Wimmer die heute so gänzlich veränderte Gestalt des Thermopylenpasses auf Dünen- und Deltabildung zurückführt, so muss er sich jetzt durch Schliemann belehren lassen, dass die Ablagerungen der für den Namen der Gegend bestimmend gewesenen Thermalquellen am meisten formverändernd gewirkt haben [3]. In der Ebene von Olympia ward archäologische Forschung von morphologischer kräftig unterstützt [4].

§. 2. **Die Frage nach der Konstanz der Weltmeere und Kontinente.** Im Centrum des Interesses steht begreiflicherweise die Frage, ob das Wechselverhältniss von Festland und Meer, wenn auch selbstverständlich nicht in den Einzelheiten, so doch in grossen Zügen, früher dasselbe gewesen sei, wie jetzt. Lyell, der abgesagte Feind aller gewaltigen Umwälzungen (vgl. S. 502), huldigte gleichwohl der Ueberzeugung, dass ein und derselbe Kontinent zwar sehr lange, nicht aber dauernd seine Gestalt beibehalte, sondern diese in langsamen und ungeheure Zeiträume in Anspruch nehmenden Uebergängen wechsele [5]. Ch. Darwin dagegen spricht sich für eine annähernde Konstanz aus; die heutigen Oceane seien weder in paläozoischer noch in mesozoischer Zeit durch Festland, resp. durch sehr ausgedehnte Inselgruppen erfüllt gewesen [6]. Die Alignements-Geologie Élie de Beaumont's in Verbindung mit den Bestrebungen Dana's, die grossen Richtlinien des Erdkörpers nachzuweisen, regten zu mehrfachen Versuchen einer aprioristischen Bestimmung der Gestalt der Kontinente an*). In neuester Zeit hat Wallace im achtzehnten Kapitel seines uns bekannten Insel-Werkes [11] mit grosser Entschiedenheit die Unveränderlichkeit der Kontinentalmassen als solcher betont, und H. Jordan hat [12], wesentlich nach ihm, den momentanen Stand der Frage übersichtlich dargestellt. In der That hat der mit Glück geführte Nachweis (S. 486), dass es niemals einen Kontinent „Lemuria" gegeben habe, die Stellung der Anhänger von Wallace sehr gekräftigt; Fisher, Gardner, Wyville Thomson gehören zu diesen, und wenn auch eingeräumt wird, dass die Kontinente früher einmal theilweise von Wasser bedeckt sein mochten, so sollen die Tiefen des Meeres dort doch immer einen sehr bedeutenden Gegensatz gegen die Tiefen des umgebenden — eigentlichen — Oceanes aufgewiesen haben [13]. Dagegen wird von Mellard Reade u. A. geltend gemacht, dass die grossartige Bedeckung der Erdoberfläche mit Meeressedimenten mit der Darwin-Wallaceschen Ansicht sich nicht vertrage. Wie schon bemerkt, herrscht jedoch darüber nicht der mindeste Zweifel in beiden Lagern, dass par-

*) Ein solcher Versuch, die gegenwärtige Vertheilung von Land und Wasser zu erklären, bei dem alle möglichen — wohl auch unmöglichen — kosmischen Faktoren herangezogen werden, rührt von Skalicky her [7]. Dorr sieht in den heutigen Begrenzungslinien der Kontinente die Linien grosser Brüche, durch welche die Erdkruste in dreieckige Schollen zerlegt ward; ein Gestademeridian und ein Gestadeäquator, dessen Pole etwa unter 55° Breite liegen, kennzeichnen die Hauptspalten [8]. Sehr ähnlich gehalten ist die Theorie, welche Pater Kolberg in seinem Werke „Nach Ecuador" entwickelt, und Jakob weiteren Kreisen zugänglich gemacht hat [9]. Danach wären die Festlandmassive als die oberen Theile dickerer Erdkrustenschollen zu betrachten. Auch Kolberg erkennt einen Bruchäquator und Bruchmeridian an, welche beide sich das einemal im hinterindischen Archipel schneiden, doch behauptet er nicht, wie Dorr, dass diese Schollenränder etwas Definitives, seit grauer geologischer Vorzeit Bestehendes seien. Alles wohl erwogen, scheinen uns diese sämmtlichen, in ihrer Art gewiss geistvollen und mit scharfer Berechnung den Verhältnissen angepassten Lehrgebäude der wirklichen Natur doch immer Gewalt anzuthun. Solche geometrische Beziehungen zwischen gewissen Kugelkreisen und den Längsaxen der Festländer wollten, wie Zöppritz berichtet [10], auch O'Reilly und K. Schröder eruiren: wenn bei diesen Versuchen die grossen Gebirgsketten eine hervortretende Rolle spielen, so ist daran zu erinnern, dass die Gebirge, geologisch betrachtet, oft ein nachweislich viel weniger hohes Alter haben, als der Rest der Kontinente.

tiell dereinst die Begrenzung beider Elemente eine von der heute wahrgenommenen verschiedene gewesen sei *).

Neue Perspektiven hat, wie bei jeder von ihm in Angriff genommenen Frage, neuerdings Suess uns eröffnet [17]. Indem er das Alter der einzelnen Kontinente zu ermitteln sucht **), erklärt er Nordamerika für ein sehr altes Festland, welches diese seine Eigenschaft seit dem Verschwinden des „Laramie-Meeres" ***) besitze. Südamerika hat seine Meeresdecke ungefähr in der Mitte der Tertiärperiode verloren. Bei der alten Welt hingegen ergiebt sich, dass dieselbe kein einheitliches Ganzes, sondern aus verschiedenen Gebieten „zusammengeschweisst" ist. Gestützt auf seine präcisen Definitionen der einzelnen Formen, welche die Störung des gleichförmigen Schichtenbaues im Inneren der Erdrinde annehmen kann — Definitionen, die wir bereits an früherer Stelle zusammengestellt haben (Band I, S. 326 ff.) — ordnet Suess die Länder und Meere nach den Bruchlinien, die sich als die ausgezeichnetsten erweisen, die aber freilich weit davon entfernt sind, die von den Sanguinikern der geometrischen Geologie behauptete Regelmässigkeit erkennen zu lassen. Als wichtigstes Resultat der Suess'schen Forschung erscheint [21] die Trennung des Landkomplexes der alten Welt in zwei Hauptbestandtheile: Indo-Afrika, die grösste „Tafel" der Erde, und Eurasia, ein durch vielfache Fältelung an seiner Südgrenze sich scharf gegen das Nachbargebiet abgrenzendes Stück Erde, dem auch unser kleines Europa angehört.

Die Grenzlinien und die Sonderart dieser neu fixirten Erdtheile

---

*) Einige Beispiele mögen zur Erläuterung dieser Angabe nach Höfler [14] angeführt werden. Die schweizerischen Seen scheinen zur Tertiärzeit unter einander in Verbindung gestanden zu sein und einen verzweigten, nördlich weit über Solothurn hinaus erstreckten Binnensee oder besser ein Binnenmeer gebildet zu haben, welches nach und nach durch den Durchbruch des Rhône-Flusses entwässert ward. Dass man die oberitalienischen Seen als Fjorde eines dereinstigen lombardischen Meeres ansieht, und dass man eine frühere nasse Verbindung der tunesischen Schott's mit dem Mittelmeere für wahrscheinlich hält, ist uns bereits bekannt (S. 519 ff.). Aus einer zwischen Blanchard, Milne Edwards, Daubrée und Hébert über die frühere Gestalt des mittelländischen Meeres gepflogenen Diskussion [15] erhellt zwar nicht so sicher, wie Blanchard glaubt, dass eine Landbrücke früher einmal dessen Nord- und Südgestade verband, wohl aber, dass die Grenzen des Meeresbeckens am Ausgang der Miocänzeit ganz andere waren, als sie heutzutage sind. Dass noch in der mittleren Zechsteinzeit das thüringische Inlandmeer ein Busen des Oceanes war und sich erst am Ende jenes Zeitraumes gegen denselben abschloss, weiss Liebe [16] sehr wahrscheinlich zu machen. Höfler kommt (a. a. O.) zu der Vermuthung, dass alle Tiefebenen mit nur wenig entwickelten Stromläufen in Ruhestand versetzte Meeresbecken seien. Einer Umkehrung ist jedoch dieser Satz gewiss nicht fähig, denn der Lauf des Oberrheines ist sicher sehr entwickelt, und doch wogte zweifellos ein Tertiär-Meer zwischen Schwarzwald und Vogesen, das einem von Lepsius in der Alpenvereins-Sektion Darmstadt gehaltenen Vortrage zufolge zugleich von drei Himmelsgegenden her in die Senkung sich ergossen haben soll.

**) Einen eigenartigen mathematischen Weg zur Bestimmung des Alters und der Mächtigkeit einer geognostischen Formation, jene Worte im absoluten Sinne genommen, hat Haughton betreten [18], freilich dabei auf Voraussetzungen über Aenderung von Rotationsdauer und Rotationsaxe der Erde sich stützend, welche früher (Band I, S. 213 ff.) entwickelten Ansichten zuwiderlaufen. Rein geologischer Natur sind dagegen Mellard Reade's Vorschläge für solche Altersbestimmungen [19].

***) Dieser riesige Brackwasser-See muss sich im Inneren des Kontinentes vom 33. bis zum 60. Grade nördlicher Breite ausgedehnt haben [20].

bestimmt die geognostische Forschung. Aber es drängt sich dabei naturgemäss die Frage auf: Wie kommt es, dass Eurasia noch vor nicht sehr langer Zeit Faltungsprocesse über sich ergehen lassen musste, während Indo-Afrika seit unvordenklicher Zeit den grossen tektonischen Verschiebungen gegenüber sich neutral verhielt. Ob auf diese konkrete Frage schon jetzt eine befriedigende Antwort ertheilt werden kann, das stehe dahin; wie aber überhaupt die Gleichgewichtsmodifikationen der Erdrinde zu Stande kommen, darüber soll uns der nächstfolgende Paragraph aufklären *).

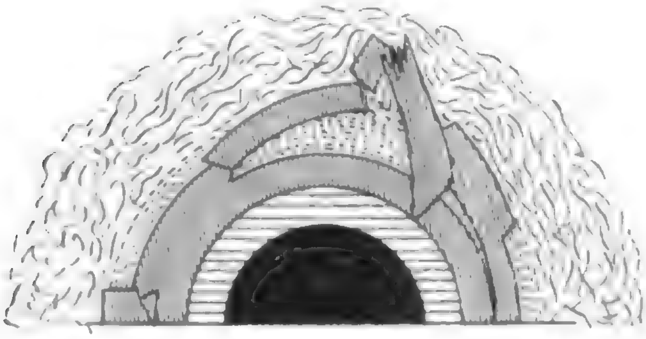
§. 3. **Die innere Mechanik der sich abkühlenden Erdkruste und die Faltung.** Wenn die Kant-Laplace'sche Kosmogonie eine innerlich berechtigte ist, so befindet sich unser Planet, ebenso wie alle übrigen Mitglieder des Sonnensystemes, noch heute in einem Zustande progressiver Abkühlung. Mit dieser Abkühlung sind Kontraktionserscheinungen nothwendig verbunden. Aus diesem Grunde betrachtet es die physikalische Geologie als ihre oberste Aufgabe, Kontinental- und Gebirgsbildung einzig und allein als das Ergebniss der Kontraktionsprocesse, denen unsere Erdrinde von jeher unterlag und heute noch unterliegt, nachzuweisen.

Wenn wir die allmählige Entwickelung dieser geodynamischen Theorie verfolgen **), so müssen wir in Cartesius den ersten Forscher verehren, der vollbewusst die Entstehung der hervorragendsten Unebenheiten unserer Erdoberfläche auf Gewölbeinstürze zurückführte ***).

---

*) Suess hat geleistet, was A. v. Humboldt fühlte und andeutete, selbst aber noch nicht in gleich befriedigender Weise auszuführen im Stande war: „Die räumliche Vertheilung der Feste und des Flüssigen, dem inneren Kausalzusammenhang der Erscheinungen folgend" zu ergründen [22]. Wie Habenicht's Theorie der „sphärischen Kraterbecken" diese Aufgabe durch Zurückverfolgung des Erdzustandes in die Anfänge der Weltentstehung zu lösen versucht [23], davon ward bereits in dem der Kosmogonie gewidmeten Kapitel (Band I, S. 45) Einiges berichtet. Habenicht's Hoffnung (?), der Process der Kontinentalbildung werde ein fortschreitender sein, lassen wir auf sich beruhen.

Fig. 114.



Erdkern. Magma. Kruste. Wasserhülle. Lufthülle.

**) Als einen guten Führer bei diesem Beginnen schätzen wir eine Abhandlung v. Czerny's [24], welche allerdings weiter ausholt und auch die von uns im ersten Kapitel dieser Abhandlung erledigten geogonischen Spekulationen mit behandelt. Blos der dritte Theil des Artikels bezieht sich speziell auf die hier zu erörternden Dinge.

***) Diese fast ganz vergessene Thatsache der Mitwelt wieder in's Gedächtniss zurückgerufen zu haben, ist Daubrée's Verdienst [25]. In Fig. 114 sehen wir das von Descartes selbst entworfene Schema der Bildung einer Kontinentalscholle vor uns. Ueber dem feurigflüssigen Erdkern ist die starre Erdkruste gewölbartig ausgespannt; eine interne Gleichgewichtsstörung brachte ein Stück der Kruste zum Bersten, und während dasselbe theilweise über die concentrisch anliegende Wasserhülle emportritt, stürzt sich zugleich das Wasser in den entstandenen Hohlraum. Man kann behaupten, dass die Art und Weise, wie sich z. B. Noak die Entstehung der Andenkette denkt [26], nicht grundsätzlich, sondern nur i[n] der Form der geologischen Begründung von diesem alten Vorbilde verschieden is[t].

Humboldt besass wohl eine Ahnung davon, dass die einseitig plutonistische Anschauung unzureichend für die Lösung solcher Probleme sei, allein über blosse Andeutungen kam er nicht hinaus, und so blieb es Élie de Beaumont vorbehalten, die richtige Auffassung, dass nämlich der Lateraldruck der sich zusammenziehenden Gesteinsschichten Gebirge emporheben könne, bestimmter auszusprechen. Eine solche Darlegung ist bereits in dem in den „Ann. des sc. natur." von 1825 enthaltenen Aufsatze „Recherches sur les révolutions de la surface du globe" enthalten, und dessen Verfasser kam noch mehrfach auf den Gegenstand zurück, ohne freilich sich zur Ausschliessung des nebenbei noch wirkenden Schubes von unten nach oben bequemen zu können. Durch die Amerikaner Leconte [27] und Dana, namentlich aber durch das vielgelesene Lehrbuch des Letzteren, „Manual of geology", ward dem ersterwähnten der beiden obigen Momente mehr und mehr der Vorsprung gesichert, und nun begannen auch in Europa die Forscher für jene Theorie sich zu erklären, welche man im Anklang an das bei den Erderschütterungen Erkannte (Bd. I, S. 401 ff.) als die geotektonische bezeichnen muss. Ganz besonders günstig wirkten für die Aufnahme dieser letzteren die Ergebnisse des geologischen Experimentes*). Nach der theoretischen Seite hin dagegen wurde die neuere Lehre fest begründet durch E. Suess [33] und durch A. Heim, und da die Arbeiten des schweizerischen Geologen**)

*) Geologische Experimente sind, wie wir uns aus Kap. I, §. 4 dieser Abtheilung erinnern, mit grossem Erfolge bereits von Hall gemacht worden. Später haben F. Pfaff und Daubrée den Gegenstand von Neuem, unter grösseren Gesichtspunkten und mit vervollkommneten Hülfsmitteln, aufgenommen; Pfaff hat seinem grösseren Werke [28] eine Anzahl von Versuchsreihen beigegeben, und Daubrée hat neben zahlreichen Einzelaufsätzen, von denen der eine oder andere uns noch zu beschäftigen haben wird, ein inhaltreiches Werk darüber geschrieben, welches nunmehr auch in einer trefflichen deutschen Ausgabe studirt werden kann [29]. Die Bewegungsverhältnisse der vom Wasser fortgeführten festen Körper, deren gegenseitige Zerreibung, die diese letzteren begleitenden chemischen Vorgänge, das Ritzen und Schrammen einer ruhenden Gesteinsart durch eine in Bewegung befindliche, Schichtenstörungen und Schichtenverbiegungen unter starkem Drucke, Uebergänge aus der geschichteten in die geschieferte Struktur, endlich Spaltenbildungen aller Art, das sind im Wesentlichen die Dinge, an denen Daubrée darthut, dass in der Stille des Laboratoriums sich ein in kleinen Theilen ähnliches Miniaturbild der grossen tektonischen Metamorphosen herstellen lasse. — U. a. lehrt Daubrée auch die Entstehung der Erdgebirge durch Seitendruck sehr hübsch nachzuahmen, indem er aus einem Kautschukballon die Luft langsam durch Auspumpen entfernt. Chancourtois verstärkt [30] den von Daubrée hervorgerufenen Eindruck noch dadurch, dass er den Ballon zuvor in heissflüssiges Wachs taucht, denn jetzt entstehen in der erkalteten Wachsrinde, wenn die Ballonhaut sich fältelt, bergähnliche Runzeln der verschiedensten Art. Hübsche Imitationen erhielt A. Favre [31], als er ein 1,6 cm dickes, 12 cm breites und 40 cm langes Stück von Gummi elastikum mit einer bis zu 6 cm dicken Thonschicht belegte, das Stück sodann bis nahe an seine Elasticitätsgrenzen hin ausspannte und es dann in seine frühere Form zurückspringen liess. Die Faltungen der Thonmasse erinnerten lebhaft an Längengebirge; „it appears," sagt Favre, „probable, that, by pressures more powerful and more variadly employed, we might obtain again very different structures." Wallace und Ransom wenden ein, es sei aus Favre's Experiment, das blos eine einzige Dimension berücksichtige, kein Analogieschluss auf die kugelförmige Erde zu ziehen [32], allein auch bei Ransom's abgeändertem Versuche kommen nur zwei Raumabmessungen zur Geltung. Pfaff verwahrt sich ebenfalls gegen die „Verwechselung von Kugel und Cylinder".

**) Das Hauptwerk Heim's [34] besitzt treffliche artistische Beilagen, allein da sein Preis eben aus diesem Grunde sich ziemlich hoch stellt (60 Mk.), so kann

gerade die physikalische Basis zu fundiren bestimmt sind, so werden wir zunächst bei ihnen Halt machen, indem wir uns vorbehalten, auf die geologischen Folgerungen von Suess im nächsten Paragraphen zurückzukommen.

Jener Gebirgsstock, welchem Heim durch eingehende Detailuntersuchung die Materialien entnommen hat, auf welchen sein eigenes System, als eine Modifikation des Dana'schen, beruht, füllt den Zwischenraum zwischen den oberen Ausläufen des Glarner Thales und der Gotthardstrasse. Dieses Massiv ist ausgezeichnet durch die mannigfachsten Schichtenfaltungen, welche freilich auch noch in den angrenzenden Gebirgstheilen, bis hin zum Wallenstadter See, in grossartiger Entwickelung auftreten. Woher nun stammen diese Fältelungen, Ueberkippungen, Horste u. s. w.? Dass die Schichten nicht von Hause aus solch' eigenartige Lagen angenommen haben, bedarf wohl keines besonderen Beweises. Es erheben sich demgemäss zwei wohl zu trennende Fragen, von denen die erstere die weitaus bedeutsamere ist. Wie ist es, da Gesteine doch im Allgemeinen nur einen sehr geringen Elasticitätsmodul besitzen, möglich gewesen, dass der starre Fels, anstatt brüchig zu werden, sich die theilweise fast abenteuerlichen Verbiegungen und Verschlingungen gefallen liess, welche uns in den geognostischen Profilen so sonderbar anmuthen, und wie ist zweitens in jedem besonderen Falle die gerade dort beobachtete Schichtenstörung zu erklären [37]?

Die erste Vermuthung ist naturgemäss die, dass damals, als jene Veränderungen des Schichtenbaues sich vollzogen, das Gestein sich noch in weichem, halbflüssigem Zustande befunden habe. Diese Annahme ist aus vielen Gründen zurückzuweisen: mitten unter verbogenen Schichten finden sich auch zerrissene, abgebrochene, in Breccien (S. 561) verwandelte Felsmassen, und die störenden Kräfte haben ihre Tendenz der Gestaltveränderung auch an eingelagerten Petrefakten bethätigt, deren völlige Versteinerung in jener Zeit eine schon längst abgeschlossene war. Aber auch die sprödesten Felsarten weisen deutlich bruchlos vollzogene Umformungen von grosser Intensität auf. Für die bei dieser Umformung wahrgenommenen Modalitäten stellt Heim 16 „Gesetze der Erscheinung" auf [38]*) und aus diesen zieht er gewichtige

---

es als solches leider nicht die zu erwünschende weite Verbreitung finden, und es ist deshalb sehr erfreulich, dass in einem vom Autor selbst besorgten Auszuge [35] wenigstens die Kernpunkte des Systemes für Jedermann zugänglich niedergelegt sind. Einige besonders schwierige Einzelfragen, an welche sich in der geologischen Zeitschriftenliteratur eine lebhafte Polemik geknüpft hat, werden von Heim in einer besonderen Abhandlung [36] diskutirt.

*) Die nicht wohl angängige Wiedergabe dieser Gesetze möge sich mit den folgenden Andeutungen der wichtigsten Punkte entschuldigen lassen. Umformungen mit und ohne Bruch finden sich an nicht zu weit entfernten Stellen für die nämliche Gesteinsart. Der Umstand, dass die Falten an ihren Enden am dünnsten sind, spricht für eine nicht von innen nach aussen, sondern für eine von aussen nach innen wirkende Kraft. Plastischere Gesteine erleiden gewöhnlich eine Transversalschieferung oder Clivage, und zwar fällt die Streckungsrichtung eines etwa eingeschlossenen Petrefaktes in die Schieferungsebene des Gesteines. Es wird Ausweichungsclivage, Mikroclivage und Lamellarclivage unterschieden. Bruchlose Umformung, die man auch Stauung nennen kann, nimmt mit wachsender Tiefe zu; unplastische Gesteine erleiden eine solche begreiflicherweise nur in ganz besonders grossen Tiefen.

allgemeine Schlüsse [39]. Eine geschichtete Masse formt sich ihm zufolge leichter durch Druck um, als eine homogene; wendet Natur oder Kunst entsprechend grosse Kraft an, um auch für Körper der letzten Art analoge Wirkungen hervorzubringen, so ist das Resultat meist Schieferung. Die Erdrinde ist geschichtet, und so konnten verhältnissmässig leicht die Faltengebirge entstehen. Dass die Falten durchaus weit mehr in die Länge, als in die Breite sich erstrecken, erhellt aus dem Umstande, dass einem zugleich in zwei auf einander senkrechten Axen sich äussernden Drucke ein viel grösserer Widerstand entgegengesetzt wird, als einem linear wirkenden Drucke. Freilich sind unter den Druckverhältnissen, welche uns auf der Erdoberfläche entgegentreten, solche Kraftleistungen nicht möglich, allein schon früher, als uns die Gletschertheorie zur Betrachtung der plastikodynamischen Gesetze nöthigte (S. 547 ff.), erkannten wir, dass bei entsprechender Druckverstärkung ein merkwürdiges Ereigniss eintritt: eine fortschreitende Annäherung des festen Aggregatzustandes an den tropfbarflüssigen. Der Gebirgsdruck pflanzt sich dann nicht mehr linear, sondern allseitig und radial fort, und selbst die sprödesten Materien gehen in einen Zustand über, der nach Heim der latent-plastische heissen soll. Stoffe in diesem Zustand werden durch einen Horizontalschub bruchlos umgeformt. In engster Beziehung zu dieser tiefgehenden Aenderung des Molekulargefüges steht die Lehre vom Gesteinsmetamorphismus*), für dessen Erklärung sich nunmehr die früher als allein maassgebend betrachtete chemische Interpretation in ihrer Herrschaft nicht mehr zu erhalten vermag. „Manche Gesteinsmetamorphosen, wie z. B. die stellenweise Umwandlung von dichtem Kalkstein in Marmor in den Alpen, weit entfernt von Eruptivgesteinen, die Umwandlung des Hämatit im Eisenoolith**) in Magnetit, stehen mit der Quetschung dieser Gesteine in nahem Zusammenhang, so dass eine Art Metamorphismus, der selbst chemische Umwand-

*) Umgewandelt oder metamorphisch nennt man nach H. Credner [40] dann ein Gestein, „wenn es aus irgend einer Ursache eine Umgestaltung seiner chemischen Zusammensetzung, seiner mineralischen Konstitution oder seiner Strukturverhältnisse erfahren hat.“ Mineralquellen, Sickergewässer, Kohlenbrände, vulkanische Dämpfe sind nachweislich oft bei diesem Umsetzungsprocesse betheiligt; der Regional-Metamorphismus oder Kontakt-Metamorphismus, welcher, wie wir sahen (S. 361 des ersten Bandes), in der Vulkantheorie von H. Reusch eine so grosse Rolle spielt [41], ist Credner zufolge eine seltenere Erscheinung, als man erwarten sollte. Sehr häufig bemerkt man da, wo eine gluthflüssige Magma-Masse im umschliessenden Fels erstarrt ist, gar keine Veränderung dieses letzteren: in anderen Fällen allerdings, namentlich bei den Auswürflingen der Eifel und bei vielen Basalt-Durchbrüchen in deutschen Gebirgen, treten die für hohe Hitzegrade charakteristischen Phänomene der Verglasung, Frittung und Brennung zu Tage. Den Metamorphismus im Allgemeinen hat man immer theils plutonistisch, theils hydrochemisch erklärt [42]: die mechanische Deduktion werden wir weiter unten folgen lassen. — Etwas von der Metarmorphose Verschiedenes ist die Pseudomorphose, „wenn ein Mineral in der ihm nicht zukommenden Krystallform eines anderen, nach unseren Erfahrungen unlöslichen Minerales gefunden wird“ [43]. Wir haben von Spiess eine sehr gelehrte Zusammenstellung alles dessen erhalten [44], was man überhaupt von Pseudomorphosen weiss. Neue merkwürdige Pseudomorphosen fügte G. Keller den bereits bekannten hinzu [45].

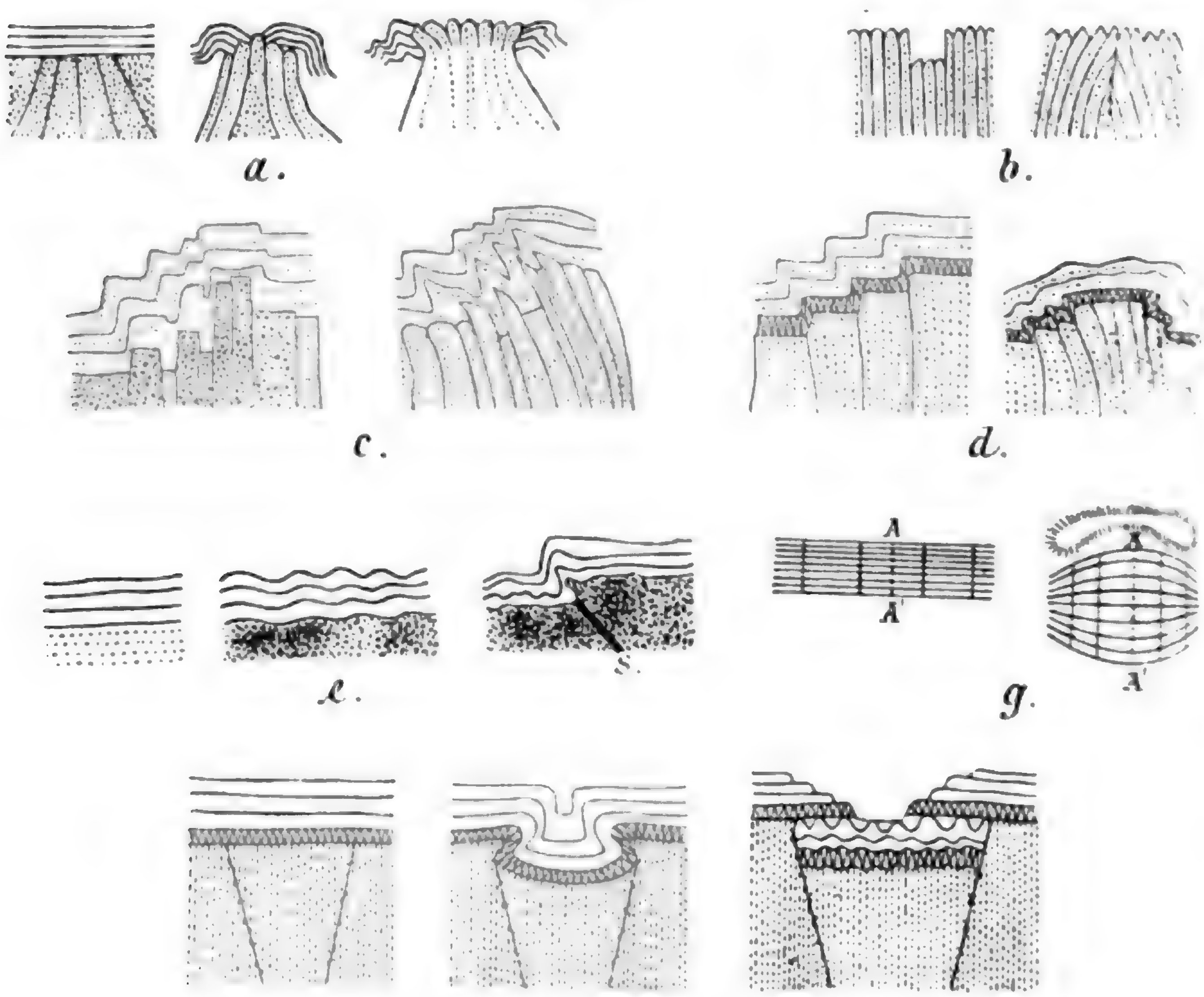
**) Oolithisch heisst ein Gestein dann, wenn es aus lauter kleinen, kugeligen Konkretionen besteht [46]. Die Geologen vindicirten bisher diesen Gebilden (Erbsenstein von Karlsbad) eine rein minerogene Entstehung [47].

lungen in sich begreift, als höchste Potenz der mechanischen Umwandlung, welche eben die Starrheit in der Lage der Theilchen überwunden hat, erscheint.“ Heim, der sich (a. a. O.) in dieser Weise ausspricht, erhofft von einer späteren Vervollkommnung der Methoden eine experimentale Nachbildung dieser Vorgänge*).

---

*) Sehr umfassende Versuche über Schieferung und über Formveränderungen der in geschieferten Gesteinen häufig vorkommenden Fossilien sind von Daubrée angestellt worden [48]. Es gelang ihm, jene „distorsions“ der Einschlüsse, welche (s. o.) die Natur bewirkt, auch im Experimentirsaale hervorzubringen. Daubrée identificirt übrigens „schistosité“ und „fissilité“. — Sehr werthvolle Beiträge zur Ausbildung der Heim'schen Lehre, namentlich soweit der Metamorphismus in Betracht kommt, lieferte Baltzer [49], der hervorhob, dass der allseitig wirkende Druck den Theilchen Zeit lasse, sich in ihren neuen Kohäsionsverhältnissen gegenseitig zu assimiliren, umsomehr, da der Faltungs-Akt selbst wieder erhitzend auf die Gesteine wirkt. — Als ein entschiedener Gegner der Lehre von der latenten Plasticität ist F. Pfaff aufgetreten [50], und zwar hat

Fig. 115.



derselbe sich (vgl. Band I., S. 361) so augenfällig der von ihm früher nicht ohne Schärfe bekämpften Doktrin von dem mächtigen Einflusse des Wassers zugewandt, dass ein Recensent der betreffenden Schrift in der englischen Zeitschrift „Nature“ (1880, S. 325 ff.) nicht ohne Verwunderung dem Autor entgegenhalten konnte: „Thoug hitherto no Neptunist, he now distinctly avows himselfs as a believer of the paramount power of water in the elevation of mountains.“ Es darf übrigens

Die älteren Geologen der Humboldt-Buch'schen Schule waren der Meinung, dass Gebirge, wie die Alpen, durch Druck aus dem magmatischen Erdinneren empor gepresste Gebilde seien, die neuere (Suess-Heim'sche) Theorie nimmt an, es hätten sich Ur- und Sedimentärgestein den thatsächlich für die Gebirgsbildung verantwortlich zu machenden Kräften gegenüber ganz gleich, nämlich gleich neutral verhalten. Nicht unbeträchtlich ist die Anzahl Derjenigen, welche beide Möglichkeiten neben einander zulassen wollen und noch beträchtlicher ist die Zahl Derer, welche der gleichen Ansicht sind, der Natur aber noch andere Bethätigungsweisen ihrer Gestaltungskraft offen gehalten wissen wollen. So nimmt v. Petrinò [55] einen von der Erdrotation herrührenden Tangentialschub, Wettstein [56], wie mit ihm auch Pilar (a. a. O.), einen auf kosmische Wirkungen zurückführenden Gleitungsschub, Asterios, dessen — uns nur durch einen Bericht von Geinitz [57] zugänglich gemachte — Hypothese an die oben besprochene von Habenicht anzuklingen scheint, den Herabsturz kosmischer Körper zu Hülfe*). v. Sonklar nimmt [59] fünferlei Bildungsweisen an, ohne jedoch eine scharfe principielle Scheidung zwischen den Agentien zu treffen. Wir werden später, jedoch noch in diesem Paragraphen, die Frage ernsthaft erörtern, ob wohl die Kontraktionstheorie für sich allein als ausreichend zur Erklärung aller Erscheinungen anzusehen ist; vorläufig bleibt sie für uns die

---

nicht verschwiegen werden, dass ein so genauer Kenner der Gebirgs-Mechanik, wie Stapff [51], ebenfalls der Gebirgsfeuchtigkeit oder dem Bergschweiss bei Faltungen und metamorphischen Transformationen eine einflussreiche Rolle zuweist. Stapff ist freilich auch kein unbedingter Anhänger der Heim'schen Theorie, er nimmt die Analogie mit den hydrostatischen Gesetzen nur für die durch Druck pulverisirten Felsmassen an und hält die bruchlose Umformung für das Aussergewöhnliche, die Umformung durch Zertrümmerung und Wiederverkittung dagegen für das Normale [52]. Auf die grossentheils in der Vereinszeitschrift der geologischen Gesellschaft ausgetragenen Streitigkeiten zwischen Heim, dem Baltzer zur Seite stand, und seinen Gegnern — vgl. auch S. 360 ff. des ersten Bandes — ist hier einzugehen nicht der richtige Ort; die Frage ist hauptsächlich, ob die den Alpen der Schweiz zugeschriebenen Faltungssysteme wirklich der Natur oder nur dem Konstruktionstalente der Erklärer ihre Entstehung verdanken. Wir persönlich halten das Erstere für das Wahrscheinlichere, um so mehr, da im Jahre 1882 eine Vereinigung von Fachmännern auf Grund vorgenommener Beaugenscheinigung einstimmig die Existenz der meistbestrittenen Glarner Doppelfalte anerkannt hat [53]. — Eine jedenfalls sehr originelle Erklärung der Metamorphosenbildung und Fältelung giebt, wie Fig. 115 zeigt, Pilar mit Hülfe seiner uns aus Kap. II, §. 6 der dritten Abtheilung bekannten Theorie der Keilschollen [54], von denen die kontinentalen sich heben, die oceanischen sinken sollen. In a ist die allmählige Bildung der Fächerstruktur dargestellt, in b sehen wir, wie einzelne Leisten von starkem Seitendruck zum Sinken gebracht und allmählig überwölbt werden, c erklärt die aus einseitigem Drucke resultirenden Ueberschiebungen, und aus den drei Serien ist zu ersehen, wie die Lamellenstruktur des Gneisses sich verändert und der Granitstruktur sich nähert. d soll darthun, dass die ursprünglich vertikale Schieferung durch „Auswalzung“ eine horizontal gestreckte werden kann. Ein auf granitischer Unterlage ruhender Schichtenkomplex e wird entweder ganz oder im Falle des Vorhandenseins einer Verwerfungsspalte S nur theilweise gefaltet. Wenn in eine Hubscholle eine sekundäre Senkscholle eingeschaltet ist, so kommt Schema f zur Geltung, g endlich will den bogenförmigen Verlauf vieler Kettengebirge (Karpathen) veranschaulichen. A repräsentirt die aufsteigende „Kontinentalscholle“, A' die sinkende „Oceanscholle“.

*) Nach v. Czerny ist F. Weiss als ein Vorläufer v. Petrinò's anzusehen [58].

allein maassgebende, und nur für ganz spezielle Fälle*) soll auch plutonische Protrusion, an deren Möglichkeit ja Niemand wird zweifeln wollen, als Gebirgs-bildender Faktor in Rechnung gezogen werden**). Wir halten uns an die Schriften Heim's, neben welchen noch, als auf demselben Boden stehend, ein Vortrag von Toula [63] zur Orientirung empfohlen werden kann.

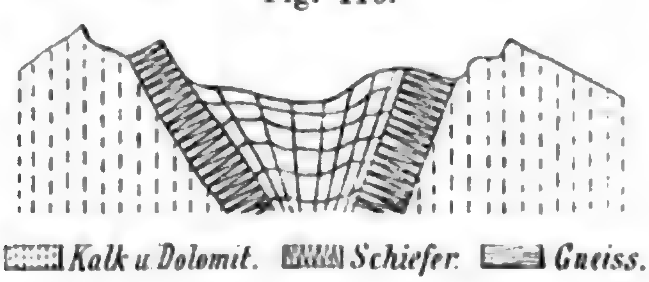
Die innere Struktur der Centralmassive, in erster Linie der Alpen, spricht nach Heim [64] für Faltenbau***); die Massive erscheinen „als die Gewölbetheile eines Faltensystemes der krystallinischen Kruste". Einzelne Sedimentbildungen auf der Höhe des Centralmassives sind nicht, wie die Erhebungsgeologen wollten, Zerreissungsreste, sondern Reste einer durch Denudation grossentheils zerstörten, ehedem zusammenhängenden Sedimentdecke. Aber auch jedes Kettengebirge ist eine Faltenschaar, welche nur meistens im Querprofil nach beiden Seiten hin ungleich ausgebildet ist [65]. Heim zeigt, wie man die Grösse des Zusammenschubes rechnerisch aus den Werthen her-

*) Wir erinnern an die (Band I, S. 332 ff.) anerkanntermassen durch gluthflüssige, aus der Erde langsam emporgequollene Massen in die aufgetriebenen Sedimente hineingepressten Laccolithe Nordamerika's und Irland's und überhaupt an die Domvulkane. Aber auch die bekannten Felsamphitheater des Adamello-Stockes sind nach Reyer [60] nur dann erklärbar, wenn man sich denkt, dass längs des ganzen Gebirgszuges Eruptiv-Magma emporgestiegen sei, dessen stärker aufgebauschte Massen gegen die Peripherie vorrückten und dort erstarrten, während in den minder aktiven Gebieten die erhitzten Gesteine zurückblieben, um schliesslich Mulden und Kesselthäler zwischen jenen laccolithischen Buckeln zu bilden.

**) Peters leitet die Fältelung weniger vom Kontraktionsschub, als von dem seitlichen Drucke der Schollen her, in welche die Erdrinde zertheilt ist, und welche zum Theile stabile, von den tektonischen Umwälzungen verschont bleibende Urschollen sind [61]. Der Effekt kann allerdings in beiden Fällen ziemlich der gleiche sein. — Die von Vogt und Naumann gebilligte Ansicht, dass die bei der Verwandlung von Sedimentgestein in krystallinisches Gestein mitunter beobachtete Volumenvermehrung von bedeutenderem Einflusse sein könne, erachten wir als durch Toula's Gegengründe [62] erledigt.

***) Die verschiedenen Strukturformen im Bau der Centralalpen werden von Heim (a. a. O.) folgendermassen gekennzeichnet. „Es giebt Centralmassive, welche vollständig erhaltene, breite, gewaltige Gewölbe der krystallinischen Schiefer mit auf der Höhe flachen Schiefern sind (Simplon, Monte Rosa u. s. w.), wie man sie bei den Sedimentgesteinen nicht regelmässiger finden kann. Eine

Fig. 116.



zweite Form, welche aus der ersten durch Abwitterung der Gewölbebiegung hervorgeht, ist die Dachstruktur (Tauern). Die Parallelstruktur (Aiguilles rouges, Finsteraarmassiv zum Theile) entspricht Falten, deren Schenkel parallel gepresst, deren Umbiegung erodirt ist. Wenn endlich die Zusammendrängung noch weiter geht, entsteht das Centralmassiv mit Fächerstruktur (Gotthard, Finsteraarmassiv zum Theile, Montblanc)." Unsere Fig. 116 soll die Fächerstruktur versinnlichen.

leiten kann, welche für die Verkleinerung der Erdkugel in Folge von Abkühlung Geltung besitzen*), und stellt solchergestalt ein System auf, welches sich durch Abgeschlossenheit, innere Durchsichtigkeit und Harmonie mit den Erfahrungsthatsachen vortheilhaft von früheren Systemen unterscheidet.

Nur einen einzigen ernst zu nehmenden, dafür aber freilich sehr gewichtigen Widersacher hat diese Lehre gefunden. Es ist diess Osmond Fisher, der schon früher gegen Wallace behauptet hatte [67], dass die Verhältnisse der Zusammenziehung für Erdkern und Erdrinde zu sehr abweichende wären, um die eine einheitliche Kontraktion der Erde voraussetzende Heim'sche Erklärung der Gebirgsfaltung acceptiren zu können, und der dann neuerdings in seinem grossen geophysikalischen Werke wieder hierauf zurückkam. Aus einer analytischen Diskussion zieht er den Schluss, dass für näher an der Erdoberfläche gelegene Partieen der Lateralschub, wie ihn unsere Theorie voraussetzt, Alles zertrümmern müsse**). In freilich sehr verbesserter Form erscheint Fisher's eigene Theorie als eine plutonistische, Gebirgsbildung und Vulkanausbrüche sind nur graduell verschiedene Manifestationen eines und desselben Processes, nämlich des Eindringens der dem Magma entströmenden hochgespannten Wasserdämpfe in die Spalten der über dem feurigflüssigen Kugelringe gewölbartig ausgespannten Erdrinde.

Angesichts dieses Gegensatzes zwischen zwei gleich verdienten Vertretern ihrer Wissenschaft ist es doppelt werthvoll, sich auf eine gleichfalls tief eingehende und zugleich entscheidende mathematische Untersuchung berufen zu können. Bauschinger hat sich nämlich die Aufgabe gestellt, ganz allgemein das Maass der in irgend einem Punkte der Erdrinde herrschenden Spannungen zu ermitteln [69]***). Wir halten die Methode und die Schlussfolge-

---

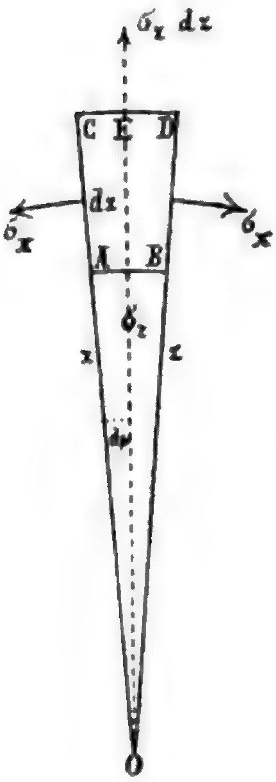
*) Der hiebei befolgte Gedankengang ist dieser. Wenn wir uns die sämmtlichen Längsgebirge der Erde ausgeglättet und das dadurch überschüssig gewordene Material längs der Oberfläche der Erde ausgebreitet denken, so wird die Erdkruste dicker werden müssen, als sie im Augenblicke ist. Heim bestimmt die Grösse der Zusammenschübe, durch welche resp. Alpen und Jura erzeugt wurden, zu 120 000 und 5000 m; der Erdumfang wird von ihm gleich 40023512 m gesetzt, und es hätte sich sonach der durch die Longitudinalaxe des Alpenzuges hindurchgelegte grösste Kreis der Erdkugel nur um $^1/_3$ Procent verkleinert, wenn der Stauungs- und Faltungsvorgang, der jenes Gebirge erzeugte, ein instantaner gewesen wäre. „Schätzen wir," so fährt Heim (a. a. O.) fort, „die Faltung der anderen von dem Centralalpen-Meridian geschnittenen Gebirge noch in ihrem Zusammenschub ab, so finden wir, dass die Umfangsverkürzung durch die gesammte Gebirgsbildung bis jetzt nicht ganz 1 Procent betragen hat." Mittel zur Prüfung des noch ausständigen Fragepunktes, ob die durch Wärmeverlust bedingte Verkleinerung des Erdballes wirklich innerhalb der hier angenommenen Grenzen sich bewege, hat G. A. Darwin durch seine numerische Berechnung der von Thomson (Band I, S. 311) entwickelten Formeln an die Hand gegeben [66].

**) „The inference from this is that no shell is likely to have sufficient strength to resist the crushing effects of lateral pressure unless it be a very small distance from the centre" [68].

***) Werthvoll als Nebenumstand ist, dass Bauschinger nicht in allen Stücken mit Heim übereinstimmt, sondern dessen Deutung der Festigkeitsversuche, die er an dem berühmten Werder'schen Apparate des Münchener Polytechnikums angestellt hatte, von sich abweist. Umsomehr gilt uns die schliessliche Uebereinstimmung beider Forscher. — Von Belli's auf ein ähnliches Ziel gerichteten, jedoch keineswegs gleich exakten Arbeit [70] hatte Bauschinger keine Kenntniss.

rungen dieser Arbeit für wichtig genug, um dieselbe ihrem wesentlichen Inhalte nach hier zu reproduciren.

Fig. 117.



ABCD (Fig. 117) sei irgend ein körperliches Element der Erdkruste in Gestalt eines abgestumpften Kegels, doch sind dessen Deckflächen nicht Ebenen, sondern Kalotten von Kugeln, welche ihr gemeinsames Centrum im Mittelpunkte O der Erdkugel haben. OE sei die Symmetrielinie des Elementes, und es sei ferner der unendlich kleine Winkel COE = DOE mit $d\varphi$, OA mit z, somit AC = BD mit dz bezeichnet. Der Inhalt von ABCD ist nach einem bekannten Satze der Raumgeometrie $= \pi z^2 \, d\varphi^2 \, dz$, und daraus erfolgt, wenn γ das als konstant angenommene Gewicht der Volumeinheit, auf die Erdoberfläche versetzt, bedeutet, gemäss einer vom Autor selbst zuvor angestellten Potentialbetrachtung, der Gesammtbetrag der von der Kugel auf ABCD ausgeübten Attraktion gleich $\gamma \, . \, \frac{z^3}{R} \, . \, d\varphi^2 \, dz$, wo R den Halbmesser der Erdkugel vorstellt. Auf die Flächen AB und CD wirken die normalen Spannungen σ_z und $\sigma_{z + dz}$ pro Flächeneinheit, und demnach wirken auf die ganzen Flächen AB und CD Kräfte, welche durch $\pi z^2 \, d\varphi^2 \, \sigma$ und $\pi \, (z + dz)^2 \, d\varphi^2 \left(\sigma_z + \frac{d\sigma_z}{dz} dz\right)$ auszudrücken sind. Die Flächeneinheit des Mantels unseres konischen Elementes möge durch die tangential wirkende Spannung σ_x angegriffen werden, welche wir in eine auf OE senkrechte und in eine zu OE parallele Komponente zerlegen; letztere ist $= \sigma_x \sin d\varphi$. Die Grösse der Mantelfläche ist $= 2\pi\left(z + \frac{1}{2} dz\right) d\varphi \, dz$, und es ist demnach die Summe aller mit OE in der Richtung übereinstimmenden Spannungskomponenten $= 2\pi\left(z + \frac{1}{2} dz\right) d\varphi \, dz \, \sigma_x \sin d\varphi$. Damit sämmtliche Spannungen sich im Gleichgewichte halten, muss die Gleichung $\pi (z + dz)^2 \, d\varphi^2 \times \left(\sigma_z + \frac{d\sigma_z}{dz}\right) dz = \pi z^2 \, d\varphi^2 \, \sigma_z + 2\pi\left(z + \frac{1}{2} dz\right) d\varphi \, dz \, \sigma_x \sin d\varphi + \pi\gamma \, . \, \frac{z^3}{R} \, . \, d\varphi^2 \, dz$ zu Recht bestehen. Diese Gleichung lässt sich auf folgende einfache Form bringen*):

$$\frac{d\sigma_z}{dz} = \frac{2}{z}(\sigma_x - \sigma_z) + \gamma \, . \, \frac{z}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Nunmehr entnimmt Bauschinger den Lehrbüchern der Elasticitätstheorie die von der Wissenschaft längst festgestellten Werthe für

---

*) Die Herleitung erfolgt, indem man $\sin d\varphi$ durch $d\varphi$ ersetzt, allerorts mit $d\varphi^2$ hebt, $2z\,dz$ und dz^2 gegen z^2 fortlässt und zuletzt die Gleichung mit z^{-1} multiplicirt.

σ_x und σ_t; versteht man unter $\frac{d\varsigma}{dz}$ die Dehnung in radialer, unter $\frac{\varsigma}{z}$ diejenige in tangentialer Richtung, unter G und M gewisse Konstante, so hat man

$$\sigma_x = \frac{2G}{m-2}\left(\frac{d\varsigma}{dz} + m\frac{\varsigma}{z}\right),\quad \sigma_t = \frac{2G}{m-2}\left[(m-1)\frac{d\varsigma}{dz} + 2\frac{\varsigma}{z}\right].$$

Diese Werthe substituirt man in (1), und es ergiebt sich so für die Aenderung ς des Radius eine Differentialgleichung von der zweiten Ordnung:

$$\frac{d^2\varsigma}{dz^2} + 2\frac{d\left(\frac{\varsigma}{z}\right)}{dz} = \frac{1}{2G}\cdot\frac{m-2}{m-1}\cdot\gamma\cdot\frac{z}{R} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2).$$

Da sich in (2) die Trennung der Variablen von selber vollzogen hat, so kann man ohne weiteres integriren und findet, unter C_1 eine Konstante verstanden,

$$\frac{d\varsigma}{dz} + 2\cdot\frac{\varsigma}{z} = \frac{1}{4G}\cdot\frac{m-2}{m-1}\gamma\cdot\frac{z^2}{R} + C_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3).$$

Nun multiplicire man in (3) beiderseits mit z^2; es stellt sich dann heraus, dass $z^2\cdot\frac{d\varsigma}{dz} + 2\varsigma z$ das vollständige Differential von $z^2\varsigma$, genommen nach z, ist, und so lautet, wenn C_2 wieder eine Konstante ist, unser neues Integral*) so:

$$\frac{\varsigma}{z} = \frac{1}{20G}\cdot\frac{m-2}{m-1}\cdot\gamma\cdot\frac{z^2}{R} + \frac{1}{3}C_1 + \frac{C_2}{z^3} \quad . \; . \; . \quad (4).$$

Mit Rücksicht auf (4) verwandeln sich die für σ_x und σ_t eruirten Werthe in diese:

$$\left.\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{2G}{m-2}\left[\frac{m+3}{20G}\cdot\frac{m-2}{m-1}\cdot\gamma\cdot\frac{z^2}{R} + \frac{m+1}{3}C_1 + (m-2)\frac{C_2}{z^3}\right],\\ \sigma_t &= \frac{2G}{m-2}\left[\frac{3m-1}{20G}\cdot\frac{m-2}{m-1}\cdot\gamma\cdot\frac{z^2}{R} + \frac{m+1}{3}C_1 - 2(m-2)\frac{C_2}{z^3}\right].\end{aligned}\right\} \quad . \quad (5).$$

Hier fehlen uns noch die Konstanten C_1 und C_2. Wir folgen unserer Quelle nicht in der Ermittelung der Werthe derselben**), sondern erwähnen nur, dass durch gewöhnliche algebraische Rechnung und ohne jede analytische Schwierigkeit folgende Werthe aus (5) hervorgehen:

---

*) Es sei erwähnt, dass vorher noch eine Multiplikation mit z^{-5} stattgefunden hat.

**) Für $z = R$ ist σ_x mit dem Drucke der atmosphärischen Luft, für $z =$ dem inneren Radius der Erdrinde mit dem auf deren innere Wandung wirkenden Drucke β identisch. Der Autor vernachlässigt ersteren als zu gering, was wohl gestattet ist, wenn schon G. A. Darwin die von der Erdatmosphäre herrührenden Gestaltveränderungen des Erdsphäroides als durch Rechnung kontrolirbar nachgewiesen hat [71].

$$\left.\begin{aligned}\sigma_x = \frac{1}{2}\beta \cdot \frac{R}{\Delta r}\left(1 - 2\frac{\Delta r}{R} + \frac{\Delta z}{R}\right) - \frac{1}{2}\gamma R \\ + \left(1 + \frac{m+1}{m-1} \cdot \frac{\Delta z}{R} - \frac{1}{2} \cdot \frac{3m-1}{m-1} \cdot \frac{\Delta r}{R}\right); \\ \sigma_z = -\beta \cdot \frac{\Delta z}{\Delta r}\left(1 - 2\frac{\Delta r}{R} + 2\frac{\Delta z}{R}\right)\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (6).$$

Hierin bedeutet Δr die Dicke der festen Erdrinde, Δz die Tiefe, in welcher unser Element ABCD unter der Erdoberfläche liegt, es ist $\Delta z = R - z$. σ_z lässt sich erheblich vereinfachen, da die in der Klammer sonst noch vorkommenden Grössen gegen 1 verschwindend klein sind. Wenn wir des Ferneren m durch μ^{-1} ersetzen und an Stelle von β die Grösse γh treten lassen, so wird aus unserem Systeme (6) das neue System

$$\left.\begin{aligned}\frac{\sigma_x}{\gamma} = \frac{1}{2} R\left(\frac{h}{\Delta r} - 1\right) - \left(\frac{h}{\Delta r} - \frac{3-\mu}{4-4\mu}\right)\Delta r \\ + \frac{1}{2}\left(\frac{h}{\Delta r} - \frac{1+\mu}{1-\mu}\right)\Delta z; \quad \frac{\sigma_z}{\gamma} = -\frac{h}{\Delta r} \cdot \Delta z\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (7).$$

Diese Gleichungen (7) sind nun für unsere weiteren Betrachtungen entscheidend.

Für den normalen Fall nämlich, dass an der Erdoberfläche, wo $\Delta z = o$ ist, die Spannung σ_x sich ebenfalls annullirt, folgt, wenn man mit h_0 den bezüglichen Spezialwerth von h bezeichnet und von höheren Potenzen von $\frac{\Delta r}{R}$ absieht,

$$\sigma_x = -\frac{\mu\gamma}{1-\mu}\Delta z, \quad \sigma_z = -\gamma \Delta z \quad \ldots \quad (8),$$

und es sind dann also, wie die Vorzeichen besagen, beide Gattungen von Spannungen in Druckspannungen übergegangen. Wäre dagegen $h = h_0 + i$, so würde sein

$$\sigma_x = -\frac{\mu\gamma}{1-\mu}\Delta z + \frac{1}{2}R\gamma \cdot \frac{i}{\Delta r}, \quad \sigma_z = -\gamma\left(1 + \frac{i}{\Delta r}\right)\Delta z \quad (9);$$

daraus aber folgt, dass für ein positives i unser σ_x an der Oberfläche zur Zugspannung werden kann, während für $i < 0$ es Druckspannung bleibt. σ_z verliert diesen Charakter überhaupt nicht.

Für isotrope Körper und inerhalb der unseren Versuchen gemeiniglich gesteckten Grenzen hat μ nach Bauschinger den Durchschnittswerth $\frac{1}{4}$, und dieser liesse sich weder mit (8), noch mit (9) gut vereinigen. Die Heim'sche Theorie fordert nämlich, wie wir wissen, dass der Druck sich schliesslich gleichmässig nach allen Seiten hin fortpflanzt, und dafür gilt als analytische Bedingung $\sigma_x = \sigma_z$, was nach (8) mit $\frac{\mu\gamma}{1-\mu} = \gamma, \mu = \frac{1}{2}$ gleichbedeutend ist. Auf Grund seiner Festigkeitsversuche schliesst aber Bauschinger [72]: Es ist höchst wahrscheinlich, dass bei Drückungen, wie sie in einer Tiefe von mehreren tausend Metern statthaben müssen, die Grösse μ rasch gegen $\frac{1}{2}$ konvergirt, und zwar

kann zuletzt μ ohne grossen Fehler als ein für grössere Tiefen konstanter Werth angenommen werden.

Damit ist, wie man sieht, die ganze Frage dem von Fisher geäusserten Zweifel entrückt, ob die Abkühlung sich in diesem oder jenem Sinne durch Druck äussere. Der Kernpunkt von Heim's Theorie der Gebirgsbildung ist die Möglichkeit oder Unmöglichkeit eines latent plastischen Zustandes, und dieser erscheint nunmehr als die einfache und naturgemässe Konsequenz des Spannungszustandes, in welchem sich, lediglich kraft der Newton'schen Gravitation, die tiefer gelegenen Partieen unserer Erdrinde befinden. Mit Tresca's und Spring's Versuchen (S. 553) stimmt diese Annahme durchaus überein.

Kleine tektonische Störungen offenbaren sich in Veränderungen des Nivellements *), grössere in den uns bereits bekannten Erdbeben**).

---

*) Hierher gehört vielleicht Zeune's Nachricht [73], es seien in Ulm, Esslingen und Jena Verschiebungen, ja das Verschwinden entfernter Fixpunkte beobachtet worden. Studien über langsame Bewegungen des Bodens, wie wir sie im ersten Bande (S. 219) betrachteten, haben neuerdings Uzielli [74] und Issel [75] veröffentlicht. Der geographische Kongress zu Venedig beschloss die Beihülfe der Geodäten zur Feststellung solcher Unregelmässigkeiten anzurufen, und v. Bauernfeind liess dem entsprechend die mit einem unerklärten Fehler behaftete „Fichtelgebirgsschleife" nochmals durchrechnen [76]. Das Resultat wies jedoch nicht auf spontane Bewegungen innerhalb der Erdrinde hin.

**) Hier ist der Platz, Einiges über Höhlen einzuschalten. Dass dieselben vielfach geotektonischer Natur sind, haben wir bereits früher nach Reyer [77] festgestellt. Schon Buckland hatte gegen Daubeny, der Gasmassen, in das weiche Gestein eingedrungen, als die eigentliche Ursache der Höhlenbildung angenommen hatte, „Rücken und Wechsel des Gebirges" für die Ursache ausgegeben [78]. Freilich möchten wir nicht soweit gehen, ein pelomorphisches Zuwachsen entstandener Hohlräume für andere, als allenfalls für jene grossen Tiefen zuzugeben, denen ein Druck entspricht, wie er die latente Plasticität der Gesteine bedingt. J. Baumann entdeckte eine Höhle sehr nahe am Gebirgsgipfel, wo also jede andere Entstehungsursache, als eine rein mechanische, von selbst ausgeschlossen ist [79]. Sonst natürlich können Höhlen auch recht wohl durch Auswaschung oder Einsinken ausgelaugter Gesteine zu Stande kommen; auf die Erosion des Wassers führt Mohr die Höhlen im Kalkgebirge zurück [80]. Leider pflegen die Alpenforscher den Hohlräumen im Gebirge fast ausschliesslich unter dem paläontologischen, prähistorischen und sagengeschichtlichen Gesichtspunkte ihre Theilnahme zuzuwenden; Fruhwirth hat in einer grossen Abhandlung, deren zweite, mehr geophysikalische Hälfte leider noch aussteht, diesen Theil der Höhlenkunde trefflich bearbeitet [81]. — Die physische Erdkunde nimmt wesentlich Antheil an drei Arten von Höhlen.

a) **Heissluſthöhlen.** Dieselben sind noch wenig erforscht. Die Heilkunde sucht die bekannte Höhle von Monsumano als Sanatorium zu Ehren zu bringen. Eine Höhle, die auch im Januar noch Luft von 14° Wärme ausstösst, entdeckte Krejcí im nördlichen Böhmen [82].

b) **Tropfsteinhöhlen.** Mit diesen beschäftigt sich Huxley [83] weit eingehender, als es andere Lehrbücher thun. Wenn kalkreiches Wasser den Zutritt zu einer Höhle findet, so verdunstet es, und es bildet sich von ihm ein fester Niederschlag, der Tropfstein. Zuerst entstehen die von der Felsdecke herabhängenden Stalaktiten (σταλάσσειν, tropfen); von ihnen träufelt reich mit kohlensaurem Kalk beladenes Wasser zu Boden, und es wachsen so von unten nach oben die Stalagmiten (στάλαγμα, Tropfen). Beide Gattungen erscheinen oft in den bizarrsten Cylinder- und Kegelformen. Die bekanntesten Tropfsteinhöhlen sind wohl die krainische Grotte von Adelsberg und die istrische Grotte von St. Kanzian; berühmt sind auch die Grotten der englischen Insel Caldy und der griechischen Insel Antiparos, sowie die „Mammuthhöhle" in Kentucky — vgl. die

So gewaltige, wie die Faltenbildung sie mit sich bringt, sind seit Menschengedenken nicht mehr bemerkt worden.

§. 4. **Der Zusammenhang der Erdgebirge unter einander.** Wir gedenken hier eine kurze Uebersicht über die Resultate zu geben, zu welchen Suess betreffs der von ihm geschaffenen vergleichenden Orologie gelangt ist. Es wird sich dabei unsere Darstellung der Kapitel-Eintheilung im „Antlitz der Erde" anzuschliessen haben.

a) **Das nördliche Alpenland.** Vom südlichen Schweden her dringt durch das nördliche und mittlere Russland hindurch bis in's östliche Galizien hinein die „russische Tafel" [91], eine seit den ältesten Zeiten kaum aus ihrer Lage gebrachte ebene Platte, die nur am Rande theilweise von den karpathischen Faltungen überwältigt ward. Westlich ruhen die Karpathen auf den sie unterteufenden „Sudeten" auf. Dann zieht sich mit treppenförmigen Absätzen gegen den Fuss der Alpen das „fränkisch-schwäbische Senkungsfeld" hin, ausgezeichnet durch Einsturzkessel im Riess und Hegau. Die süd- und mitteldeutschen Gebirge treten als „Horste" (Band I, S. 327) aus diesen Depressionen hervor; am schärfsten ausgeprägt ist der als Pfahl bekannte und für den bayrischen Wald typische Quarzzug*).

Abbildung bei Marinelli [84]. Landerer hat eine besonders schöne Höhle dieser Art in Attika entdeckt [85].

c) **Eishöhlen.** Grotten, in welchen sich das Eis ganz oder fast ganz durch's Jahr hindurch erhält, sind in nicht eben geringer Anzahl bekannt und beschrieben. Wir nennen die Rother Eishöhle in der Eifel, perennirende Eisbildungen im Westerwald, die Grotte von Illetzkaja Zakhita bei Orenburg, als hauptsächlich durch die auch für die theoretische Seite des Gegenstandes bahnbrechenden Veröffentlichungen Schwalbe's bekannter geworden [86]. Sehr interessante Exemplare weist Ungarn bei Demonowa, Szilicze und Dobschan auf; namentlich dieses letzte ist schon mehrfach zum Objekte monographischer Behandlung ausersehen worden [87]; andere Beiträge lieferten Browne aus der Schweiz und Jarz aus Mähren. Supan meint, zwischen Tropfstein- und Eishöhlen bestehe nur der Unterschied, dass eben Tropfstein durch Eis ersetzt sei [88], allein ganz so einfach gestaltet sich, wie wir sehen werden, die Sache denn doch nicht. Fugger, der am Untersberg bei Salzburg mehrere Eislöcher — nicht zu verwechseln mit den dort gleichfalls häufigen Schneetrichtern — zu beobachten Gelegenheit hatte, äusserte sich am 10. August 1882 auf dem Salzburger Alpinistenkongress dahin, dass es falsch sei, an ein Schwinden des Eises im Winter und an eine Neubildung desselben im Sommer zu glauben, vielmehr sinke im Winter die Temperatur tief unter Null, während das Einsinken von Tropfwasser fortdaure, und nur selten vermöge dann im Sommer so viel wärmere Luft in die Kaverne zu dringen, um das Wintereis gänzlich zu vernichten [89]. Allein Schwalbe wendet mit Recht ein, dass diese Kausalerklärung mindestens keine in allen Fällen zutreffende sei; es spreche dagegen das Erstarren des Wassers bei'm Herabträufeln, die Eisbildung in solchen Höhlen, deren Eingang tiefer liegt, als der Ort, at welchem das Eis entsteht, und das notorische Wachsen des Eises im Frühling. Unser Gewährsmann, der den Gegenstand jedenfalls auf Grund der ausgedehntesten Autopsie behandelt, erblickt in dem Boden der Höhlen den Sitz der Abkühlung; es scheine, dass das Wasser in überkältetem Zustande aus dem Boden hervortrete und bald erstarre. Nur bleibt aufzuklären, wieso der Sickerprocess zu einer solchen Kälte führen kann; möglich, dass der Luftzug in den Spalten dabei mit im Spiele ist. Dass einsinkende kalte Luft die Eisbildung fördert, wird natürlich zugestanden, aber nur in Ausnahmsfällen wird allein in ihr die Ursache jener gesehen werden dürfen. Der Bodentemperatur „mit ihren nachhinkenden Maxima's und Minima's" gesteht E. Richter [90] grossen Einfluss zu.

*) Das geognostische Wesen dieser durch ihre Geradlinigkeit oft an Kunstbildungen erinnernden Erhebung ist uns besonders durch Gümbel [92] erschlossen worden.

b) **Die Leitlinien des Alpensystemes.** Die Alpen beginnen westlich von Genua (S. 531), da, wo die Tangentialbewegung im Apennin eine entschiedene Umbeugung erlitt; innerhalb des Jura dehnt sich der Bogen ihrer Faltungen erst gegen Norden, dann mehr und mehr gegen Osten. Es sind hier mehrere koncentrische Leitlinien vorhanden, deren nördlichste den Bogen der Karpathen bildet [93]. Eine zweite Leitlinie, die Linie des ungarischen Mittelgebirges, verläuft längs des Plattensee's. Man muss jedoch*) das Alpensystem auch nach Italien und über's Meer hinüber nach Afrika verfolgen, und dann zeigt sich, dass die faltende Kraft innerhalb dieses Erdraumes nicht so ausschliesslich eine nördliche, resp. nordöstliche Richtung innegehalten hat, wie die eigentlichen Alpen vermuthen lassen**).

c) **Die adriatische Senkung.** Grosse Bruchlinien, die periadriatischen Brüche, umsäumen in Gestalt annähernd koncentrischer Absenkungstreppen von Montenegro bis hin zum Lago d'Idro die Adria, welche den tiefsten Ort der Senkung bezeichnet [95]. Die Granitmasse des Cima d'Asta ragt als gewaltiger Horst hervor.

d) **Das mittelländische Meer.** Es werden nach dem Grade der Ausbreitung des Meeres in den verschiedenen geologischen Zeitaltern fünf Mediterranstufen unterschieden [96], deren erste als ihre Ablagerung den besonders in Oesterreich weit verbreiteten Schlier zurückgelassen hat. Grosse Einbrüche haben noch nach der glacialen Epoche stattgehabt.

e) **Die Wüstentafel.** Eine flache Tafel erstreckt sich von der Mündung des Wadi Dra in den atlantischen Ocean, von einer Faltungszone (s. o. §. 2) nördlich begleitet, weit nach Ostnordost [97]. Südlich bis Darfur und bis zum Somali-Land, östlich bis zum Zweistromland reichend, weist diese wenig gestörte Platte ähnliche Charakterzüge auf, wie die ihr verwandte russische. Judäa mit der Bruchlinie des Jordanthales repräsentirt [98] eine „einseitige Grabenbildung" (Band I, S. 327).

f) **Das indo-afrikanische Tafelland.** Für dieses ganze ausgedehnte Gebiet fehlt seit Beginn der Kohlenperiode jedes Anzeichen der Faltung [99]. Ein Zusammenbrechen der Schichten begann in Hindostan während oder nach der Liaszeit, in Südafrika zu einem noch nicht näher zu bestimmenden Zeitpunkte.

g) **Nordindische Schaarungen.** Charakteristisch ist für das nördliche Indien und das angrenzende Hochasien das Auftreten der mächtigen Ketten, unter denen als koordinirt die das Schwemmland des Pendjab umsäumende Salzkette, die tertiären Vorketten, der westliche Himálaya mit der Mustagh-Kette, Karakorum und westlicher Küen-Lün, Hindukusch und Pamir mit den am Oberlaufe des Oxus sich hinziehenden Parallelketten und dem Kaschgar-Gebirge, der östliche Himálaya, die birmanischen Ketten und deren

*) Man bemerke wohl, wie durch Suess' neue Aufstellungen die Buache'sche Lehre vom Zusammenhang der Gebirge reformirt oder, besser gesagt, durchgeistigt wird.

**) Für die Alpen im üblichen Sinne stipulirt Supan [94] folgende fünf Hauptlinien: Martigny-Chur, Feldkirch-Wörgl, Zillerthal-Hieflau, Mur-Mürz-Linie, vereinigte Thäler von Rienz und Drau. Die Südalpen erscheinen uns bei dieser sonst scharfsinnigen Eintheilung zu wenig berücksichtigt zu sein.

Fortsetzungen in den hinterindischen Archipel hinein unterschieden werden. Das indische Tafelland ist mit dem nördlichen Theile des grossen Oceanes tektonisch nahe verwandt [100].

h) **Verbindungsglieder zwischen den Alpen und den asiatischen Gebirgen.** Wenn man die asiatischen Gebirgssysteme in fünf gegen Süden konvexe Bogenlinien — malayischer Bogen, Himálaya-Bogen, Hindukusch-Bogen, persischer Bogen, dinarisch-taurischer Bogen — gruppirt, so kann der das westliche Mittelmeer umspannende Bogen als eine Fortsetzung jener angesehen werden [101].

i) **Südamerika.** Kein Erdtheil ist so einheitlich gebaut, wie dieser [102]. Die Kordilleren sind eine jüngere, den Charakter einer gewissen Fremdartigkeit gegenüber dem Haupt-Landkomplex an sich tragende Bildung, welch' letzterer wesentlich aus der mit paläozoischen Sedimenten bedeckten „brasilianischen Tafel" besteht.

k) **Antillen.** Drei Zonen, jungvulkanisch, tertiär und mitteltertiär, bilden ein System, welches Suess als die „Kordillere der Antillen" zu bezeichnen vorschlägt [103].

l) **Nordamerika.** Der atlantische Ocean liegt, so schildert Suess mit grossen Zügen [104] den relativ höchst genau erforschten Bau dieses Erdtheiles, an der Innenseite eines aus dem höheren Norden herab streichenden Faltensystemes. Weiter gegen Westen werden die am kräftigsten in den Alleghanies sich ausprägenden Falten flacher, es beginnt eine grosse Transgression von Cenoman (Kap. I, §. 6 dieser Abtheilung), Kreideablagerungen schieben sich weit gegen Westen vor. Da, wo die Rocky Mountains sich erheben, treten mit Einem Male abrupte Aufkantungen, Verschleppungen und Vorfaltungen der mesozoischen Ablagerungen ein. Die genannten Höhenzüge haben den Charakter von Horsten. Die Sierra Nevada ist eine gegen West überschobene Faltung, weiterhin beherrschen Eruptivbildungen das Terrain, und sodann gelangt man zur Fortsetzung der südamerikanischen Anden. —

Das Grossartige dieses Suess'schen Systemes der tektonischen Formen liegt eben in seiner Einheitlichkeit. Mag gegen einzelne Theile desselben auch Widerspruch erhoben werden, wie es z. B. von Seite Bittner's geschehen ist — die Methode und die allgemeinen orographischen Züge werden dauernder Besitz der physischen Geographie bleiben.

§. 5. **Erosion und Verwitterung.** Von der Kraft der Erosion ist, namentlich in der siebenten Abtheilung, schon zu verschiedenen Malen die Rede gewesen, ohne dass wir gleichwohl bisher zu einer systematischen Untersuchung dieses umfassenden Begriffes genöthigt gewesen wären. Nunmehr aber tritt uns die Erosion, wie schon das ungemein nahe liegende Beispiel der Bergstürze *) beweist, als morpho-

*) Als ein selbstständiges und die Beschäftigung mit ihm reichlich lohnendes Untersuchungsobjekt müssen wir die Bergstürze seit den Veröffentlichungen von A. Heim [105] und von Pollack [106] anerkennen. Das Wort Bergsturz, Bergbruch oder Bergrutsch („éboulement") umfasst in sich sehr verschiedenartige Erscheinungen, im Ganzen nicht weniger als sechs, welche nach Heim's Analyse in ihrer Sonderart am besten durch das nachstehend mitgetheilte Schema, in welchem die eingeklammerten Orte als Belege dienen, gekennzeichnet werden können.

logischer Faktor von höchster Bedeutsamkeit entgegen, und so können wir denn nicht mehr umhin, diesem hochwichtigen Faktor der Erdskulptur näher zu treten.

Es besteht nicht vollständige Uebereinstimmung unter den Gelehrten darüber, wie weit der Sinn des in alle Kultursprachen übergegangenen Wortes Erosion, zu deutsch Ausnagung, zu erstrecken sei. Wohl am weitesten gehen in dieser Hinsicht Bernhard Studer [117] und Hahn [118], nach deren Ansicht eine sechsfache Bethätigung erosiver Kräfte anzunehmen ist, nämlich Erosion in Folge von Temperaturschwankungen, Erosion des Windes, Erosion der meteorischen Niederschläge, Erosion durch Quellen und Flüsse, Erosion durch Strömungen und Wellenschlag des

---

Schuttbewegungen (Schuttbrüche) { I. Schuttrutschungen (Herdern, Fetom),
II. Schuttstürze (Bilten, Sonnenberg),
Felsbewegungen (Felsbrüche) { III. Felsschlipfe (Goldau),
IV. Felsstürze (Plurs, Felsberg, Elm),
V. Gemischte Bergstürze (Brienz in Graubündten) und zusammengesetzte Bergstürze (Vitznau),
VI. Besondere Einstürze, wozu die Erdfälle im engeren Sinne und die Einstürze ausgenagter Ufer gehören.

Pollack adoptirt von diesem Schema [107] nur die mehr in's Einzelne gehende Klassifikation; nicht aber das Eintheilungsprincip der Bergstürze nach Fels- und Nicht-Fels. Die von Rothpletz geäusserte Ansicht, dass die Bewegung der fallenden Massen weniger auf einer Rutschbahn, als in einer Wurfbahn — grossentheils durch die freie Luft — erfolgte [108], ward von Heim bestritten, und stimmt auch nicht zu Pollack's Nachweis, dass, zwar nicht immer, aber doch sehr häufig, Rutschflächen — der Autor theilt sie in Schicht-, Absonderungs- und Bruchflächen — zum Abgleiten prädisponiren. Entfernung stützender Massen, vornämlich durch die Erosion bewirkt, und Vergrösserung der Belastung sind die für die Auslösung des Sturzes bestimmenden Momente; auch können lokale Ursachen, Auftreibungen durch Senkung höher gelegener Massen, einen Sturz veranlassen, wie Th. Wolf in Ecuador beobachtet hat. Jedenfalls kann man mit Heim stets Abrissgebiet, Sturzbahn und Ablagerungsgebiet — letzteres theils mit Blöcken besäet, theils mit Schlammströmen bedeckt — unterscheiden. — Dem Publikum meist bekannt ist wohl der verderbliche Felsschlipf des Goldauer Rossberges, durch welchen der Lowerzer See zum Theile ausgefüllt ward. Weit verderblicher aber waren der mittelalterliche Absturz (wohl auch Felsschlipf?) des Dobratsch in das Gail-Thal (bei Villach), der Felssturz, durch welchen das Städtchen Plurs am Hochrhein seinen Untergang fand, und von dem die Münchener Hof- und Staatsbibliothek eine merkwürdige Zeichnung bewahrt, und die Katastrophe von Elm in Glarus, welcher Buss und Heim eine besondere Monographie [109] gewidmet haben. Die „Fleimser Breccie“ in Graubündten ist nach sorgfältiger Durchsuchung von Seiten Hartung's [110] und Heim's [111] nicht sowohl als alter Bergsturz, sondern vielmehr als grossartiges Bergsturzgebiet erkannt worden. Viele Nachrichten über indische und neuerdings vorgekommene englische Erdsenkungen mit kraterförmigen Oeffnungen bringt die Zeitschrift „Nature“ [112]. Historisch interessant ist die Thatsache, dass, als gegen Ende des XVIII. Jahrhunderts ein starker Bergrutsch im Eichsfeld stattfand, kein Gelehrter an ein solches Vorkommniss glauben wollte, bis dann endlich Lichtenberg — auf eine von seinem Schüler Benzenberg vorgenommene Okularinspektion hin — die Realität des Sturzes anerkannte und ihn zu jenem von Plurs in Parallele stellte [113]. Ein Analogon zu der berüchtigten Skepsis der Pariser Akademiker (S. 78 des ersten Bandes) den Meteoriten gegenüber! — Die morphologische Aktion rutschender loser Massen und deren Bekämpfung durch die Technik erörtert sehr eingehend Reyer [114]. Was die theoretische Grundlage für die Bewegung solcher wenig fester Massen und die Bedingungen der sogenannten Pilotirung anlangt, so hat Boussinesq dieselbe in vollständigster Form geliefert [115], und G. A. Darwin's Bestimmung des Seitendruckes derartiger Massen [116] enthält dazu einen Nachtrag.

Meeres*), Erosion durch Gletschereis**). Man wird der Berechtigung dieser weiten Begriffsbestimmung kaum entgegentreten können, aber ebensowenig wird zu leugnen sein, dass eine Vertiefung und Detaillirung der Begriffe und zumal eine Trennung der blos mechanischen und der mehr chemischen Vorgänge sich empfiehlt. „Das grosse Drama des Zerstörungsprocesses zerfällt," wie Supan diesen Gegensatz formulirt [119], „in zwei Akte: Verwitterung und Denudation. Erstere wird durch die Luft eingeleitet, durch Wasser und Pflanzen fortgesetzt; die Denudation besorgen Schwerkraft, Wasser, Eis und Luftströmungen" ***).

Die Verwitterung lernen wir am besten durch eine Schrift A. Heim's [126] kennen. Die mannigfachsten Ursachen können chemisch zerstörend auf das Gestein der Gebirge einwirken; dass der Blitzschlag oberflächliche Schmelzungen und Frittungen an Felsen hervorbringen kann, hat nichts Verwunderliches, wenn man sich des früher [S. 175] über Blitzschläge Gesagten erinnert; ein von Blitzschlägen besonders stark angegriffenes Gestein der kleinasiatischen Berge nannte Abich Fulguritandesit [127]. Weit energischer wirken Sauerstoff und Kohlensäure, deren Thätigkeit ja keinen Augenblick unterbrochen ist, und solcher Thätigkeit gegenüber erweisen sich auch solche Mineralien als schwach, welche sich im

*) Als Steigerung der Erosion erscheint die Abrasion (s. S. 460 in diesem Bande).

**) Auf Seite 557 erkannten wir die sehr geringfügige Bedeutung dieses Erosionsfaktors.

***) Die morphologische Aktion des Windes war es wohl werth, von v. Czerny zum Gegenstande einer besonderen Untersuchung gemacht zu werden [120]. Dass der Wind aus fortgewirbeltem Detritus nicht blos Bänke, sondern dichte Massive aufbauen kann, ist durch die hier mitgetheilten Beispiele und durch v. Richthofen's Lösstheorie (S. 512) zur Genüge erwiesen. Dass der Wind ebenso erodirend wirkt, ist zwar minder augenfällig, aber nicht minder gewiss [121]; er schaufelt Hohlwege durch lose angehäufte Massen hindurch und bringt nach Rohlfs in der Sahara, besonders nahe bei Murzuk, ganz eigenthümliche Bodenbildungen („Neulinge" und „Zeugen" in der arabischen Landessprache) zuwege. Wir würden es nicht für unmöglich halten, dass auf eine besondere Richtung und Stauung des sandführenden Wüstenwindes jene eigenthümliche Bodenform der arabischen Sandwüste „Nefud" zurückzuführen wäre, von welcher Lullies — nach Blunt — nachstehende Schilderung entwirft [122]: „Eine grosse, neu entdeckte Eigenthümlichkeit der Nefud sind die Fuldjes, Vertiefungen von der Form eines Pferdehufes, nach der Zehe zu mit steil abfallendem Rande, nach der Hacke allmählig steigend, am Boden von Wasserrinnen durchfurcht, die alle der tiefsten Stelle zustreben." Wir haben uns in §. 11 des dritten Kapitels dieser Abtheilung überzeugt, dass Gletscherschliffe im nördlichen Deutschland gar nichts Seltenes sind, aber noch vor wenigen Jahren vermochte H. Credner bei einzelnen solchen Fällen nicht die Zustimmung anderer Fachmänner für seine Auffassung zu erwerben, weil jene die Flächenpolitur der Winderosion zuschreiben zu müssen glaubten [123]. Als Erbauer von Dünen haben wir den Wind schon früher kennen gelernt. — Von einer neuen und wichtigen Bestätigung der Erosions- und Transportkraft der Luftströmungen erfahren wir durch Zöppritz [124]: „Die trockenen Flussbette des Amu-Darja und deren Umgebungen sind von dem Fürsten A. Gedroiz näher untersucht worden. Dabei hat sich herausgestellt, dass bei weitem der grösste Theil des Gebietes südlich vom Aral-See seine jetzige Oberflächengestaltung den Winden verdankt, welche die feinen Zerkleinerungsprodukte von Kreide und Tertiärschichten zusammen mit den Flussablagerungen des Amu und des Syr weithin verbreitet haben." Dieser Fund wirft auch auf manche der von Lochtin in fraglichem Territorium ermittelte Thatsachen [125] ein neues Streiflicht.

Laboratorium den Ruf der Unlöslichkeit erworben haben*). Die Verwitterung richtet sich auch nach den Molekularstrukturverhältnissen des Gesteines, sie greift isotrope Körper anders an, als solche mit einer Krystallaxe oder mit zwei derselben**). Wie bei Metallen, die eine oberflächliche chemische Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft eingehen, zuerst der eine Verbrennung der Theilchen signalisirende Rost erscheint, so ändert sich auch bei'm anstehenden Gestein zuerst die Farbe der äussersten Kruste, und erst nach und nach pflanzt sich die Farbenveränderung tiefer in's Innere hinein fort [129]. „Ursprünglich glashelle Krystalle werden allmählig trübe und undurchsichtig, und deren Spaltungsflächen verlieren den Glanz, der Bruch wird erdig, das Gefüge der einzelnen Mineralkörner und des ganzen Gesteines lockert sich, und endlich fällt Alles in Brocken und Grus auseinander." Auch die Pflanzdecke betheiligt sich sowohl mechanisch***), als auch chemisch beim Verwitterungsprocesse. Man muss mit J. Roth die einfache Verwitterung, bei welcher der Fels direkt durch von aussen kommende Kräfte beschädigt wird, und die komplicirte Verwitterung unterscheiden, bei welcher auch die schon aus dem einfachen Verwitterungsakte hervorgegangenen Lösungen ihre chemisch-erosive Mitwirkung leihen [130]. Der feste Fels wird so in Steinschutt und Gerölle aufgelöst; das letzte Stadium der Zersetzung, welches ohne die für die Bildung humussaurer Alkalien nothwendige Aktion der Pflanzen nicht erreicht wird, tritt uns als pulverisirte Erdkrume tagtäglich vor Augen. — Sehr wahrscheinlich muss auch jene sonderbare Gestaltung des Terrain's, welche als Karstbildung bekannt ist, der chemischen Erosion zugeschrieben werden†). Karst

*) Quarz z. B. gilt als unlöslich, und doch findet man Quarztropfsteine in Grotten und Krystalle dieses Stoffes in Klüften von Gesteinen, welche selbst wässerige Niederschlagsprodukte sind.

**) Es geht dies u. a. hervor aus Pape's auch in mathematischer Beziehung bemerkenswerthen Arbeiten über die Verwitterungsellipsoide der Krystalle [128].

***) Nach Heim (a. a. O.) ist die Zerstörungskraft mancher Pflanzen (darunter der seinen Namen vollberechtigt führende Steinbrech, aber auch Alpenrose, Berglatsche, Dryas octopetala) gar keine kleine. Man findet oft Gesteinstrümmer von allen Grössen, noch umgeben von dem Wurzelgeflecht, dessen Triebkraft sie lossprengte.

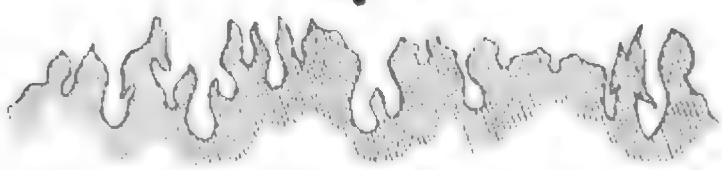
†) Das Karstterritorium wird gewöhnlich auf Krain sammt den angrenzenden Partieen von Istrien, Bosnien, Dalmatien und Kroatien beschränkt. Allerdings haben, wie Supan hervorhebt [131], auch Theile von Australien und Südbrasilien, Kentucky, Wisconsin, Palästina, Westphalen, Pyrenäengebiet, französischer Jura, endlich Livland mit der Insel Oesel ähnliche Bildungen aufzuweisen, allein keineswegs so rein ausgeprägt, wie am ersteren Orte. Charakteristische Karsterscheinungen sind: Eigenthümliche Mulden oder Dollinen (besonders berühmt die Doppeldolline von Lesetsche), Kesselthäler (meist langgestreckte Ovale, wie die Ellipse von Livno mit 60 km langer Hauptaxe), Höhlen, welche als unterirdische Räume den Kesselthälern entsprechen, verschwindende und wieder emportauchende Flussläufe (vgl. S. 604), endlich natürliche Brücken als Rudera von eingestürzten Decken. Beiläufig bemerkt, können solche Naturbrücken auch durch andere Agentien erzeugt werden, namentlich durch Inkrustationen, wofür die bekannte Travertinbrücke von Clermont [132] Zeugniss ablegt. Betreffs theoretischer Erklärung der Karstphänomene liegen drei Theorieen namhafter österreichischer Geologen vor.

a) **Theorie von Reyer.** Hiernach sind tektonische Momente auch für die Karstbildung maassgebend gewesen [133]. Dislokationen der Stauung und Verwerfung haben auch im Karst meist die Höhlen zuwege gebracht, und das

(ital. „carso“, slov. „kras“) bedeutet an sich zerklüfteten Kalksteinboden.

Die Aussenseite der Gebirge wird von der Verwitterung in der buntesten und für deren pittoresken Charakter meistbestimmenden Weise mitgenommen. Kalksteinflächen erhalten durch die Nässe, d. h. durch die chemische Zersetzungsarbeit des auflagernden Wassers Vertiefungen, zwischen denen allgemach steile Riffe emporzuragen beginnen. Diese zerhackten Kalkflächen heissen Karrenfelder oder Schratten („Lapiatz“); sie weisen oft messerscharf geschliffene Schneiden auf und sind schwer zu begehen; charakteristisch für ihre chemische, nicht mechanische Entstehung ist ihr Gebundensein an gewisse Gesteinsarten. Unsere Fig. 118 liefert ein Karrenprofil.

Fig. 118.



Gebirge, die an der Aussenseite aus sehr reinem Kalkstein bestehen, besitzen die grossartigsten Karren*), Gips ist zu leicht löslich, um der Erhaltung einmal gebildeter Schratten günstige Bedingungen darzubieten. Schnee bleibt in den Karrenfeldern gerne für längere Zeit liegen**), aber

Verständniss der Dollinenform erhält z. B. einen Fingerzeig dadurch, dass die Tropfsteingrotte von Caniale heute noch die effektive Verbindung einer Höhle mit einer Dolline wahrnehmen lässt.

b) **Theorie von Tietze.** Die ältere Auffassung, wonach Auslaugungen und Auswaschungen unterirdische Hohlräume gebildet haben, die dann zu Einstürzen Veranlassung gaben, wird von Tietze [134] energisch aufrecht erhalten.

c) **Theorie von v. Mojsisovics.** Der Grundzug dieser Theorie [135] ist: Das Karstphänomen begann sich zu entwickeln, als eine Thalbildung durch Gebirgsfaltung im Kalkgebirge eine Störung erlitt. Sowie dies eingetreten war, entfaltete die Erosion eine mächtige und ungehinderte Thätigkeit. Die Trogthäler (bosnisch „Polje“) legen dafür Zeugniss ab, die „Karsttrichter“ oder Dollinen haben keinen anderen Ursprung, als die uns schon (vgl. S. 562) bekannten geologischen Orgeln. Die blättersteppigen mit Trichtern dicht besetzten Berghänge repräsentiren eine Uebergangsform vom Karst zum Karrenfeld (s. o.). Einen warmen Anhänger fand v. Mojsisovics in Hörnes [136], der auch später die Vertretung dieser Ansichten gegen Tietze übernommen hat [137]. —

Wir wollen eine bestimmte Stellung nicht einnehmen, sondern halten uns an die sehr beherzigenswerthen Schlussworte der Tietze'schen Abhandlung (s. o.): „Die kombinirten Wirkungen einer theils oberirdischen theils unterirdischen Wassercirkulation nach den gewöhnlichen hydrostatischen und hydrodynamischen Gesetzen, Erosionseffekte im Inneren von Kalkgebirgen, chemische Auslaugungen, mechanische Auswaschungen, Bildung von Hohlräumen und Einstürze der Decken dieser Hohlräume, Gleichgewichtsstörungen und Wiederherstellungen des Gleichgewichtes, das sind die Ursachen ...“ — Ein österreichischer Forstmann, v. Guttenberg, berechnet [138], dass 1100000 Bewohner Cisleithaniens, 340000 Bewohner Transleithaniens auf Karstgebiet wohnen, und macht, gestützt auf historische Studien, beachtenswerthe Vorschläge zu der keineswegs für unmöglich zu erachtenden Wiederbewaldung dieser Oede [139].

*) Vorzügliche Abbildungen von Karrenfeldern — und Karrenbrunnen — hat uns in jüngster Zeit Simony zugänglich gemacht [140].

**) Die Schneetrichter des Untersberges (s. o.) müssen somit auch den Karrenbildungen zugerechnet werden, und es hat deswegen Fugger gewiss das Richtige getroffen, als er in ihnen die vereinte Wirkung von chemischer und mechanischer Erosion erblickte [141].

auch die Vegetation siedelt sich daselbst mit Vorliebe an. Die Karrenbildung nimmt ihren ungestörten Fortgang, und höchstens klimatische Veränderungen von Belang vermöchten ihr erfolgreich entgegenzuarbeiten.

Berge aus Ur- und Eruptivgestein werden durch denselben Verwitterungsprocess, welcher Kalksteinflächen zu Karren machte, in Blockgipfel (Gotthardtgruppe, Schwarzhorn im Wallis) und Felsenmeere (vgl. S. 525) umgewandelt [142]. Für jede Felsart von bestimmter Zerklüftung und Lagerung giebt es, solange das Klima stabil bleibt, eine — vom Reibungswinkel (S. 522) abhängige — Maximalböschung, welche nicht überschritten werden darf, wenn die Verwitterungstrümmer dauernd an ihr haften sollen; ausserdem entsteht ein Rutschen und Nachbrechen, bis der genannte Grenzzustand wieder hergestellt ist. So schreitet die Runsenbildung von unten nach oben fort, wie am schönsten die „Churfirsten" des Toggenburger Thales ersehen lassen. Wenn über einer der Verwitterung stark ausgesetzten Masse eine widerstandsfähigere gelegen ist, so kann erstere leicht „herauswittern", und dadurch entstehen die an sich seltenen dachförmig überhängenden Wände (vgl. S. 521)*). Wenn im Gebirge feste und weiche Felsarten rasch und häufig abwechseln, so entstehen die auf weite Entfernungen hin sichtbaren Verwitterungsterrassen, die, weil auf ihnen der Pflanzenwuchs leichter gedeiht, wohl auch den Namen Rasenbänder führen [143]. Der Stock des Glärnisch ist mit vielen und scharf markirten Bandstreifen dieser Art versehen. Am auffälligsten aber wird diese Verwitterungsstruktur dann, wenn der frisch gefallene Schnee zwar die Treppen-Absätze, nicht aber die steil abfallenden Wände dazwischen bedeckt.

Das Gestein erleidet durch die Verwitterung eine Erniedrigung, die aber erst dann augenfällig wird, wenn ein kräftiger Abtrag (Denudation, Ablation) die Wegführung der Verwitterungsprodukte ermöglicht**). Die Ungleichheit im Maasse der Denudation kann neue Berge, wie die Schweizer Mythen, erzeugen, welche, selbst aus festem Kalkstein bestehend, ehedem von leicht zerstörbarem Flysch umgeben waren. Abrutschende Verwitterungsprodukte geben, wenn auch nicht immer zu den gefährlichen Bergstürzen, so doch zur Bildung von Schutthalden und Schuttkegeln (S. 522) Veranlassung. Die Bö-

*) Etwas anders war der Hergang bei Entstehung der geneigten „Balmen" in der Schweiz.

**) Der Denudation fehlt an sanft geneigten Flächen gewöhnlich eine Energie, wie sie dieselbe unter günstigeren Verhaltnissen offenbart, und es schreitet dann der Zersetzungsprocess, wenn auch langsam, tiefer, denn sonst, gegen das Innere der Felsmassen hinein vor. Der Amerikaner Pumpelly, den wir uns bescheiden müssen, nach einem Referate von Zoppritz [144] zu citiren, dessen geologische Arbeiten über Innerasien aber Barnard [145] zu den ersten Fachleistungen der neueren Zeit rechnet, bezeichnet diesen Zustand als den säculärer Verwitterung. Dieselbe führt, wie uns v. Richthofen zeigte, etweder zur lehmigen Zersetzung, oder, falls ein hoherer Gehalt von Eisenoxyd vorhanden ist, zur Lateritbildung [146]. Nach Pechuel-Lösche muss man Laterite von zelligem Gefüge in ursprunglicher Lagerung und Laterite von dichtem Gefüge in secundärer Lagerung unterscheiden [147]. Wunderlichere Erosionsformen, als sie dem genannten Autor zufolge in den Lateritgebieten des Congo und der Loango-Küste sich vorfinden, dürfte man vielleicht auf der ganzen Erde vergeblich suchen.

schung dieser Halden beträgt durchschnittlich meist 30° [148]*). Genaue Untersuchung des durch seine paläontologischen Einflüsse berufenen Schuttkegels der Tinière hat nach Uhlmann [150] zu dem Ergebnisse hingeleitet, dass das Wachsthum solcher Ablationsgebilde kein der Zeit genau proportionales ist.

Die Erosion des fliessenden Wassers, welche zum Unterschied von anderen von nun ab Korrasion genannt werden möge, hat in diesem Paragraphen eine Stelle noch nicht gefunden. Sie ist unzertrennlich von der Lehre der Thalbildung.

§. 6. **Entstehung der Thäler, Flussterrassen und Tiefländer.** In v. Sonklar's Eintheilung der Thäler [151] werden Spaltenthäler, Verwerfungsthäler, Sattelthäler, Einsturzthäler, negative Thäler und Erosionsthäler unterschieden. Diese äusserliche Klassifikation lässt sich nicht aufrecht erhalten, doch liegt ihr immerhin ein gesunder Kern zu Grunde, und diesen glauben wir herauszuschälen, wenn wir behaupten, dass es zwei principiell und kausal verschiedene Gattungen von Thälern giebt: die seltener vorkommenden tektonischen Thäler und die die Regel bildenden Erosionsthäler.

Die ersteren können selbst wieder Spaltenthäler und Verwerfungsthäler sein. Durch Daubrée's schöne Experimentaluntersuchungen sind uns die mechanischen Gesetze der Spaltenbildung in grosser Vollständigkeit erschlossen worden**), und es ist umsoweniger abzusehen, weshalb die Möglichkeit einer Thalbildung auf diesem Wege geleugnet werden sollte, da es an Exempeln nicht fehlt, welche der Erklärung durch Korrasion die allergrössten Schwierigkeiten entgegenstellen***). Statt durch Bruch oder Aufberstung sich

*) Die Bedingungen der Ablation suchte Milne mathematisch zu fassen [149]. Wenn C_1, C_2, C_3 je eine Konstante, Q das Gewicht eines Erosionstrümmerstückes, φ der Neigungswinkel des Hanges ist, so soll die ablösende Kraft $= C_1 Q \sin \varphi$, die Anfangsgeschwindigkeit $= C_2 \sec \varphi$ und die Reibung auf der Unterlage $= C_3 Q \operatorname{cotang} \varphi$ sein. Es gälte, aus diesen drei Daten ein Maass der Ablation zu kombiniren.

**) Ausser auf Daubrée's Hauptwerk [152] verweisen wir noch auf einen die Grundgedanken desselben heraushebenden Aufsatz von v. Lasaulx [153]. Spalten im Allgemeinen heissen Lithoklasen (λίθος, Stein, κλάσις, Bruch); dieselben können Leptoklasen, Diaklasen und Paraklasen sein. Erstere heissen, wenn molekulare Veränderungen die Spaltung bewirkten, Synklasen, wenn äussere Pressung den Anstoss lieferte, Piesoklasen. Diaklasen sind die zu platten- oder quaderförmiger Absonderung führenden Spaltensysteme, welchen man, allerdings in Verbindung mit der Erosion, die merkwürdigen Figuren des Elbsandsteines (sächsische Schweiz) zu danken hat. Grosse Verwerfungsspalten endlich nennt Daubrée Paraklasen, und solche glaubt er aus dem Thälergewirre Frankreich's mehrfach herausgefunden zu haben.

***) So zeigt Kjerulf, dass für die norwegische Landskulptur vier grosse Systeme von Bruchlinien a priori bestimmend gewesen sind [154], ausnahmsweise haben sich dieselben bis jetzt erhalten; wer hieran Heim's Aeusserungen zuliebe (s. o.) Anstoss nehmen wollte, der bedenke, dass diese Aeusserungen nur für Gebiete mit vielen und starken tektonischen Störungen — also eben nicht für Norwegen — gelten wollen. Das Schluchtenthal Jutulhuget („Riesenhieb") im südlichen Norwegen ist eine Thalspalte ohne jeglichen Wasserlauf, von der Hartung, sonst ein Freund der Korrasionstheorie, ausdrücklich erklärt, dass hier an irgendwelche Erosionswirkungen gar nicht zu denken sei [155]. Reusch glaubt [156], dass diese ursprünglich nur messerrückenbreite Sprungspalte allmählig durch Erdstösse erweitert und vertieft worden sei. Auch Tietze giebt das sporadische

gebildet zu haben, kann ein tektonisches Thal auch eine einfache Konsequenz des die Berge bildenden Faltungsprocesses sein, obgleich allerdings, wie Heim sehr richtig betont [162], im Allgemeinen solche Faltenthäler sich selten durch lange geologische Zeiträume hindurch in ihrer ursprünglichen Gestalt erhalten dürften. Erdhebungen können die Einleitung zu einer Thalaushöhlung bilden, wo dann die Erosion das Uebrige thut; einen merkwürdigen Fall dieser Art (Entwässerung des Winipeg-See's) hat uns Warren überliefert [163].

Um nun zu den durch Korrasion entstandenen Thälern überzugehen, so müssen wir zuerst von einigen generellen Gesetzen sprechen, welchen dieser Process unterliegt. Eines der wichtigsten ist das von Krümmel näher bestimmte der einseitigen Erosion [164]. Von je bemerkte man, dass die im Inneren von Kettengebirgen entspringenden Flüsse eine Neigung haben, die umschliessende Mauer nur nach der einen und nicht auch nach der anderen Seite hin zu durchbrechen *); nach Krümmel ist letztere Seite stets auch die vom Regenfalle begünstigte, wo also eine gewisse Prädisposition des Gesteines für's Zernagtwerden vorhanden ist. Penck studirt die Beziehungen, welche zwischen der Flusserosion und den Vertikalschwankungen des Flussgebietes obwalten [165], und zeigt, dass jede Hebung ein kräftigeres Einschneiden des Stromes in seine Unterlage nach sich zieht. Neu und bestrickend, wenn auch zu Bedenken Anlass gebend, ist Penck's Vermuthung [166], dass in Afrika Depressionsgebiete sich mit Wasser gefüllt und durch das über ihre Randumwallung hinauslaufende Wasser Flussthalbildungen eingeleitet haben könnten. Das anerkannt grossartigste Beispiel der Korrasion sind die berühmten Canon's von Nordamerika; aus ihnen, diesen zweifellosen und alleinigen Wirkungen der Erosion, konnte gewissermassen das Gesetzbuch dieses Erscheinungskomplexes geschöpft werden, und dieser Aufgabe hat sich denn auch mit grossem Eifer und Erfolge Dutton unterzogen [167]. Ein „labyrinthisches und grossartiges Erosionssystem," wie sich v. Richthofen ausdrückt, hat sich in die sogenannte „Plateauprovinz" eingesenkt, theilweise, wie bei'm Marble Canon und bei'm Grand Canon, bis zu einer Tiefe, die zwischen 3230 und 5160 m schwankt [168]. Ausgezeichnet sind die Wände der Canon's durch Verwitterungsbänder **).

Wenn wir uns die Frage vorlegen, wie haben wir uns die

Vorhandensein klaffender Spalten zu [157], wenn er auch mit Fug [158] gegen die von Stur [159] aufgestellte Lehre von der paraklastischen Entstehung des Donauthales polemisirt. Nach Ami Boué [160] wiesen auch insbesondere die kanalartigen Thäler auf einen klastischen Ursprung hin. — Wir wollen übrigens nicht verschweigen, dass Penck sich mit Kjerulf und Hartung nicht einverstanden erklart [161].

*) Himálaya und Anden illustriren treffend die einseitige Erosion. Aber auch bei den Karpathen, Abruzzen, Westalpen, bei'm asturischen Gebirge, bei'm Atlasplateau und beim daghestanischen Kaukasus ist die Vorliebe für einseitigen Durchbruch unverkennbar.

**) Die Entstehung so langer und tiefer Erosionsschlünde ist nach Dutton an die grosse Erhebung des Gebietes, an die Horizontalität der Schichten, an das Abwechseln von leicht und minder leicht durch Verwitterung zerstörbaren Schichten und an die Trockenheit des Klima's gebunden. — Die östlichen Cañons — oder, wie er stets schreibt, Canyon's — nebst den sie durchziehenden Eisenbahnen schildert anschaulich R. v. Schlagintweit [169].

Thalausfurchung durch Korrasion im Einzelnen zu denken, so müssen wir darauf antworten [170], dass die Erosion des Wassers nicht blos das nur leise im Boden vorgezeichnete Bett fortwährend vertieft*), sondern auch eine Verlängerung dieses Bettes anbahnt und bewirkt. Hierüber sind die Geologen einig, aber über die Fortschreitungsrichtung der Korrasionsarbeit bestehen abweichende Ansichten. Tietze (a. a. O.) ist der Ansicht, dass gewöhnlich die Aushöhlung von oben nach unten fortschreitet, d. h. dass der Oberlauf längst ausgebildet ist, wenn der Unterlauf erst anfängt, modellirt zu werden, und Löwl hält dafür, dass, wenigstens in der grossen Mehrzahl der Fälle, der Process die Richtung von unten nach oben einhalte [172]**). In seiner Vertheidigung gegen Tietze macht Löwl die unseres Erachtens ebenso richtige als wichtige Bemerkung [174], dass seine Auffassung sich sehr wohl mit Thalgabelungen vertrage, die denn auch in der Natur eben nichts Seltenes sind (S. 527), nicht jedoch mit Flussbifurkationen im Gebirge, und von solchen weiss auch die Geographie nicht zu berichten. Ein besonders schwieriges Problem wird den Geophysikern durch das Vorhandensein von Durchbruchsthälern mit knieförmiger Umbiegung (Salzachthal) vorgelegt [175]. Neben Löwl's rückläufiger Erosion spielt hier vielleicht auch die einseitige Erosion (s. o.) ihre Rolle; findet das nagende Wasser in direkter Richtung unbesiegliche, in einer seitlichen Richtung dagegen nur geringe Schwierigkeiten, so ist ein Umschwenken des Korrasionsprocesses sehr wohl verständlich.

Indem wir damit das Princip einer erosiven Bildung der Thäler auf leise vorgezeichneter tektonischer Grundlinie festgestellt zu haben glauben***), wenden wir uns einer Nebenfrage

*) Sehr genau und in allen seinen Stadien scheint man dieses Einbohren des Wassers in den Grund in den südrussischen Steppen beobachten zu können. Kohl verbreitet sich hierüber im Zusammenhange mit seinen Berichten über den Entstehungsprocess von Obruive und Peressip (Kap. II der vor. Abth.). Dort ist der vom Boden geleistete Widerstand freilich ein sehr geringer, und in härterem Gestein erfordert der Process ganz andere Zeitmaasse, allein daran darf man auch keinen Anstoss nehmen. „Die Thätigkeit des Geologen," sagt Heim [171], „ist manchmal vollkommen ähnlich derjenigen des Mathematikers bei Differential- und Integralrechnung. Er beobachtet fast unendlich kleine Veränderungen in der unorganischen und organischen Welt der Gegenwart und er summirt diese durch unendliche Zeiträume. Die Grössen, mit denen er rechnet, kann seine Vorstellung kaum fassen und in Beziehung bringen, aber sein Verstand weiss doch, dass er richtig rechnet. Das Resultat ist ein sichtbares von bestimmter, endlicher Grösse."

**) Löwl hat seine Ansichten in einer eigenen Schrift [173] systematisch dargestellt. Er untersucht hier genau und mit einleuchtender Klarheit, wie aus den Quelladern Erosionstrichter und allmählig Scharten entstehen. Auch studirt er eingehend die tektonischen Vorbedingungen der Thalbildung und gründet darauf eine neue Eintheilung der Thalformen. Minder billigenswerth erscheint uns ein zu engherziges Festhalten an dem durch Peschel eingeführten Sinne des Wortes „Fjord" (vgl. S. 464 ff.).

***) Bestätigungen für das allgemeine Vorwalten dieses Principes lieferten K. Schneider [176] und Reyer [177]. Ersterer konstatirt an zahlreichen Beispielen [178], „dass sich die Zuflüsse eines Erosionsthales von diesem aus rückwärts in das Gestein einschneiden", was ganz zu Löwl's Ansicht stimmt. Reyer zeigt, wie oft die Erosion ein Thal — hier das Chiana-Thal — besser als alle Anstrengungen der Hydrotechniker zu entwässern vermag. — In einer Reihe schöner Aufsätze, erschienen in der „Zeitschr. f. d. ges. Naturw.", führt uns Dunker an der Weser jene ächten Gesetze der Thalbildung vor, welche (vgl. S. 602) eine

zu. Supan bemerkt, dass die Thäler von heute nur noch ausnahmsweise — wir denken etwa an die Via Mala oder an den in regenarmem Gebiete trefflich konservirten Erosionsschlund, den Bessels abgebildet hat [179] — direkte Kennzeichen ihrer erosiven, resp. korrasiven Entstehung an sich tragen, dass aber die Thalstufen und Terrassen an diesen Ursprung gemahnen, und dass zu ihm auch jeder Versuch einer genetischen Erklärung der Wasserfälle (S. 596) hinführt [180]. Unser Gewährsmann unterscheidet von den Ausfüllungs- oder Diluvialterrassen, wie sie durch Dana's Zeichnung der Ufer des Connecticut River allen Freunden der physischen Erdkunde wohl bekannt sind, Felsterrassen und Abdämmungsstufen. Bodmer, der sich mit diesem Gegenstande sehr vertraut gemacht hat [181], erklärt einen kleinen Theil sämmtlicher beobachteter Terrassen für Verwitterungsbänder, der weitaus grössere dagegen sei ein Erzeugniss der Flusserosion. Man wird im Ganzen den fünfzehn von ihm aufgestellten Thesen*) umso eher beipflichfen können, als sich auch die Beobachtungen anderer Forscher in Einklang mit denselben bringen lassen **). Allein ganz sicher ist es auch, dass dann, wenn die Mächtigkeit einer Geröllschicht mit der Höhe der Terrasse sich deckt, eine andere Erklärung unumgänglich ist, und diese ward von Penck gegeben [184]. „Es war das Thal bis zu seiner heutigen Tiefe bereits gebildet, diess beweist der Umstand, dass die Gerölle der Terrasse bis auf den Thalboden herabreichen. Dann begann der Fluss, seine Gerölle anzuhäufen und sein Thal anzuschütten, und zwar solange, bis er in der Höhe fliesst, welche die Terrasse besitzt. Darauf endlich schnitt der Fluss wiederum in den eben aufgeschütteten

---

missbräuchliche Auffassung mit einem in Wirklichkeit gar nicht vorhandenen (Bärschen) Gesetze der Rotations-Erosion konfundirte.

*) Diese Thesen lauten [182]: „I. Thalstufen und Terrassen kommen in allen Alpenthälern in ausgezeichneter Ausbildung vor; II. in allen bilden sie nach ihrer Höhe eine Reihe verschiedener, übereinanderliegender Systeme; III. die Thalstufen und Terrassen des gleichen Systemes müssen wir als Reste eines früheren Thalbodens auffassen; IV. die alten Thalböden sind sehr häufig, sogar gewöhnlich auf beiden Thalseiten in deutlichen Resten enthalten; V. die Thalhohlräume, welche je zwei Systeme trennen, bezeichnen Perioden rascherer Hebung der Alpen; VI. jedes Terrassensystem zeigt thalauswärts ein bestimmtes Gefälle, ähnlich demjenigen jetziger unterer Thalsohlen; VII. in kleinen Flussbetten ist das Gefälle stärker, als in grossen; VIII. in Quer- und Längsthälern, Haupt- und Nebenthälern desselben Flussgebietes finden sich ganz entsprechend Terrassen und Thalstufen; IX. in verschiedenen Hauptflussgebieten sind die Terrassensysteme in Zahl und Niveau etwas verschieden; X. die Systeme der ähnlich gelegenen und fliessenden Ströme, wie Aare, Reuss und Linth, sind sehr ähnlich; XI. Thalstufen und Terrassen wiederholen sich im Hügellande in ausgezeichneter Weise; XII. die Art des Gesteines hatte keinen Höhe-bestimmenden Einfluss auf die Terrassensysteme; XIII. je resistenzfähiger der Fels, desto deutlicher sind die Terrassen ausgebildet und erhalten; XIV. die Fälle, in denen die Terrassen unklar sind oder nicht stimmen, lassen sich meistens durch Verwitterung, Abrutschungen, Schuttanhäufungen u. s. w. erklären; XV. die frühere Zusammengehörigkeit jetzt getrennter Thalstrecken lässt sich an Gleichheit der Richtung und an Uebereinstimmung der Terrassensysteme erkennen." — Nach Mühlberg würden die Terrassen grossentheils der interglacialen Zeit (a. a. O.) angehören [183].

**) Da, wo in der Eifelgegend der Muschelkalk herrscht, finden sich nach K. Schneider (a. a. O.) immer auch Thalterrassen, und zwar erscheinen sie, was auf ihr Hervorgehen aus Korrasionswirkungen hindeutet, da, wo eine weichere Schicht, etwa Buntsandsein, auftritt.

Thalboden ein. Die stehengebliebenen Reste erscheinen nunmehr als Flussterrassen, und zwar im Gegensatz zu den oben erwähnten Erosionsterrassen als Aufschüttungs- oder Akkumulationsterrassen. Die meisten Flussterrassen Europa's sind solche Akkumulationsterrassen" *).

Von der Genese der Tiefländer ist im Allgemeinen weit weniger zu sagen, als von derjenigen der Berge und Thäler. Meist tritt in ihnen der Schichtenbau unverhüllt und ungestört zu Tage. Supan will die kontinentalen Tiefländer den peripherischen gegenübergestellt wissen, unter welchen wieder die meist alluvialen Küstenebenen eine ausgezeichnete Stellung einnehmen [187]. Höheres Interesse für die Geophysik besitzt nur jene Varietät der Tiefländer, mit welcher es der der nächste Paragraph zu thun.

§. 7. **Steppen- und Wüstenbildung.** Wir haben es hier mit einem ausserordentlich verwickelten, weil sowohl meteorologischen, als auch geologischen Probleme zu thun. Ideen, den Wüstencharakter genetisch zu erklären, begegnet man in einem leider unvollständigen Manuskripte Kant's „Von den Wüsten" [188]; den Grund der Dürre scheint derselbe allerdings mit Unrecht weniger im Regenmangel, als vielmehr in allzu grosser Durchlässigkeit des Bodens, wodurch ein schnelles Verschlucktwerden des meteorischen Wassers bedingt sei, zu suchen. Humboldt's geistvoller Essay über diesen Gegenstand [189] ist, wie bei dem Autor nicht zu verwundern, durch scharfe Betonung des klimatologischen Elementes ausgezeichnet; den morphographischen Gegensatz zwischen den Llanos und der Sahara erblickt er [190] darin, dass hier ein tropischer Seewind, dort ein über heisse Kontinentalflächen hinstreichender Luftstrom sich geltend macht. Dagegen ist Peschel's Studie [191] über Wüsten, Steppen und Wälder zwar in seinem beschreibenden Theile klassisch, allein die meteorologischen Erörterungen, die sich ganz im Kreise Dove'scher Ansichten bewegen, sind darin minder glücklich. Neuerdings hat Klein die Morphologie der Wüste zum Gegenstande eines interessanten Artikels gemacht, auf welchen [192] wir uns hier mehrfach beziehen.

Zunächst haben wir uns der thatsächlichen Momente zu versichern und festzustellen, welches die Abstufungen sind, die vom vegetationsarmen Gebiete zur eigentlichen Wüste hinüberleiten.

Diese Abstufungen können, wie Ratzel darthut, wohl in keinem anderen Lande so bequem studirt werden, wie im Gebiete der nordamerikanischen Union. Das Klima der Westhälfte dieses Landes ward

*) Penck knüpft an diese seine Erklärung die weitere Bemerkung [185], dass, da nicht allein europäische Flüsse, sondern auch solche Nordamerika's, sowie Nil und Indus, korrespondirende Thalaufschüttungen erkennen lassen, eine allgemeine und durchlaufende Phase in der Entwickelung der Ströme vorzuliegen scheine. Wir können die, wie bei diesem Forscher nicht anders zu erwarten ist, stets spannenden und anregenden Betrachtungen Penck's über den Zusammenhang dieser Aufschüttungsstadien mit der früher wahrscheinlich gemachten dreimaligen Vergletscherung der Alpenlande und mit periodischen Vereisungen hier nicht näher verfolgen, sonden wollen nur die interessante Angabe notiren, dass Perioden der Thalaufschüttung Bifurkationen zu begünstigen scheinen [186]. — Ueber die Periodicität der für die Terrassenbildung erforderlichen Erosionsverstärkung äussert sich auch Löwl in seiner Broschüre über Thalbildung (s. o.).

bereits von Frémont als ein asiatisches gekennzeichnet [193]. Es ist hier ein Hochebenen-Klima vorhanden, das nur allerdings nicht so scharf, wie im centralen Asien, zur Ausprägung gelangt*). Die sogenannten Prairieen des Mississippi, die auch bei den Anwohnern gar nicht so, sondern zutreffender „Plains" genannt werden, sind noch feucht und fruchtbar; erst jenseits derselben beginnt [196] die Prairieen- oder Steppenregion**), die südlich und westlich scharf, östlich und nördlich aber durch sehr allmählige Uebergänge abgegrenzt ist. Auf die Steppenregion folgt die der Halbwüsten, fast grasloser, mit niedrigem Gebüsch bestandener Flächen (Nevada, Utah, Wyoming, Texas, Neu-Mexiko, Reservations der Indianer). Dann folgen endlich die ächten Wüsten („Desert") mit spärlicher oder gar keiner Vegetation (Gila Desert in Arizona, Mohave Desert in Californien mit einer Flächenerstreckung von 125 000 qkm); doch ist auch in ihnen der eine Wüstentypus nur da markirt, wo entweder Gerölle und Fels den Pflanzenwuchs gänzlich unmöglich machen, oder wo in den „Sink's"***) sich harte, mit Salz durchtränkte Thonplatten gebildet haben. Die Llanos von Südamerika sind ein Mittelding zwischen Prairie und Halbwüste; an sie erinnern, auch dem Namen nach, die Llanos estacados im nordwestlichen Texas, wie wir einem nach Wheeler und Löw gearbeiteten Artikel [199] entnehmen. Einen noch sterileren Eindruck erwecken die Pampas der La-Plata-Staaten, die Humboldt mit den Llanos und den Steppen Nordamerika's in eine anregende Parallele stellt [200]†). Im Uebrigen sind zwei Wüstentypen als die hervorstechenden zu bezeichnen, die Sandwüste, an die sich recht

*) Wojeikoff macht für die Waldlosigkeit vieler Theile der Unionsstaaten namentlich die mangelnde Schneedecke verantwortlich [194] und findet diesen Defekt durch drei Ursachen veranlasst: Relativ kleine Niederschlagsmengen, gesteigerte Evaporation und besonders Ansammlung von Schneewehen in tiefer gelegenen Oertlichkeiten. Von Kapitän Dutton's Untersuchungen über das Canon-Klima war schon oben die Rede; derselbe ist der Ansicht [195], dass die aus dem Pacifik kommenden Nordwestwinde da, wo sie warm auf das kalte Land hereinwehen, ihre Feuchtigkeit abgeben und schon als trockene Winde nach Californien gelangen, so dass auch ohne eine Sierra Nevada der Steppencharakter von Utah u. s. w. besiegelt wäre.

**) Die Prairieen und ihren Naturcharakter haben in R. v. Schlagintweit, der sie nach allen Richtungen durchkreuzt hat, einen hingebenden Beschreiber gefunden [197]; derselbe betont, dass auch menschliche Schuld — man denke an die meist angelegten Prairiebrände (S. 223) — an der gegenwärtigen Gestaltung dieser Oberflächenform betheiligt ist. Allerdings giebt es feuchte und sumpfige Einsenkungen („Swale's" und „Slough's"), und Korrasion erzeugt nicht selten tiefere, bewaldete Einschnitte, die „Bottom's", deren Abhänge „Bluff's" heissen. Doch ist der Wiesencharakter vorherrschend. — Humboldt rechnet derselben Kategorie die europäischen Haideländer zu, „welche, von einem einzigen, Alles verdrängenden Pflanzenzuge bedeckt, von der Spitze von Jütland sich bis an den Ausfluss der Schelde erstrecken" [198]. Diess seien „wahre Steppen".

***) Diesem Worte kommt nach Ratzel eine doppelte Bedeutung zu: es bezeichnet einen verdunstenden Tümpel und — korrekter — einen durch Absorption verschwindenden Wasserlauf.

†) Dass Deutschland zur Diluvialzeit ein Steppenland in grossem Maassstabe gewesen sei, schliesst Nehring [201] aus der Beschaffenheit der damaligen Fauna; nach der Glacialzeit sei die Bewaldung Mitteleuropa's ungemein reducirt gewesen. Dass dieser Steppencharakter nicht allein nach den durch v. Richthofen für die abflusslosen Steppen Innerasien's mustergültig fixirten Kennzeichen (S. 512) beurtheilt werden dürfte, diess scheint uns allerdings durch Jentzsch ausser Zweifel gesetzt worden zu sein [202].

eigentlich die vulgäre Vorstellung von einer Wüste knüpft, und die Salzwüste (Salzsteppe).

a) **Sandwüsten.** Maassgebend ist für diese Gattung die afrikanische Sahara. Ihr Sand bildet sich nach Picard lokal aus dem Sandstein des aus Quarzkörnern bestehenden Untergrundes *). Da wo der Quarzsand örtlich zurücktritt, ist, wenn auch nur wenig Regen fällt, doch sofort Neigung zur Pflanzenansiedelung vorhanden, sowohl in der Sahara, wie in der Wüste Gobi. Die Wüstenthäler — Wadi's — sind oft Zeugen wolkenbruchähnlicher Regengüsse, deren Andenken aber bald wieder verwischt ist.

b) **Salzwüsten.** Durch Auslaugungs- und Verdunstungsprocesse entstehen, wie Zittel am Beispiele der Sahara nachweist [207], mit Salz und Borax bedeckte Räume oft mitten in der Sandwüste **).

§. 8. **Zoogene Bildungen.** Auch die freie Thätigkeit der Thiere kann morphologisch in Betracht kommen. In §. 5 war von der Humusbildung die Sprache, und bei ihr wirken die Würmer in gar nicht unverächtlicher Weise mit. Ch. Darwin hat ein eigenes, wie immer gedankenreiches Werk [212] hierüber geschrieben, aus dem Reichenbach [213] einen Auszug besorgte. Die Würmer schaffen unaufhörlich Material aus den tieferen Schichten der Erde an die Oberfläche herauf und wirken bei der Bildung der Sedimente ebensogut mit, wie die Verwitterung, sei es durch ihre Ernährungsthätigkeit direkt, sei es indirekt durch Verkleinerung der Gesteinsfragmente. Auch die Ameisen helfen die Aussenseite der Erde umgestalten, wie jeder zugeben wird, der Serpa Pinto's Abbildung [214] gigantischer Termitenbauten sich angesehen hat. Dass die Korallenthiere Inselbildner sind, und dass wahrscheinlich alle Kalk- und Dolomitriffe unserer Alpen auf dereinstige thierische Aktion hinweisen, sahen wir schon in Kap. III der siebenten Abtheilung. Die Bohrmuscheln bereiten durch ihre Zerstörungsarbeit der erosiven Thätigkeit von Luft und Wasser den Weg. — Auch höher entwickelte Thiere sind hier zu nennen. „Der Biber," sagt H. Credner [215], „zieht seine Dämme quer durch die Thäler, staut die Bäche zu grossen, oft seeähnlichen Teichen an, entwässert die Sümpfe durch kunstvoll angelegte Kanäle und giebt dadurch Anstoss zu Wandelungen in der Vegetation und der Neubildung von Wasserläufen." So haben denn auch Supan [216] und Davis — bei seinem genetischen Seen-System (Kap. IV, §. 2) — dem Biber als morphologischem Faktor Rechnung getragen. Den Glacialgeologen sind ferner die Schafschliffe wohl bekannt, die

*) Ueber die Sandhügel wird bei Klein, dem wir obige Notiz entnahmen [203], sowie schon mehrfach in diesem Buche (S. 471, S. 632), Einiges mitgetheilt. Ueber die Verfestigung der Sandbedeckung durch die Vegetation — wie bei den S. 473 geschilderten Dünen — äussern sich Lomonossow [204] und Barrande [205], während Rolland's Note „Sur le terrain crétacé et sur les grandes dunes du Sahara" [206] neue Beiträge zur Entstehungsgeschichte dieser ganz lokalen Sandmassive liefert.

**) Die Salzgewinnung in der Sahara war schon dem Herodot bekannt [208]. Reiter berichtet ausführlich über die salzführenden Sümpfe der Kalahari-Wüste, von den Boers „Braakpans" genannt [209]. Von der südamerikanischen Salzwüste ist im nächsten Paragraphen die Rede. Pošepný ist der Meinung [210], dass der Regen die Zufuhr des Salzes bewirke, und dass alle Salzlager Residuen von Salzsteppen seien, doch ist gegen diese Ansicht Tietze [211] mit guten Gründen aufgetreten.

nach Heim [217] der Ungeübte am Handstück leicht mit Gletscherschliffen verwechselt, die der Kenner, wie Böhm erklärt [218], aber leicht als mit Fett imprägnirt nachweist.

Eine sehr merkwürdige Erscheinung ist auch der Guano (Vogelmist), dessen dicke Lagen die bekannten peruanischen Inseln geognostisch fast unbestimmbar gemacht haben. Neuere Untersuchungen thaten dar, dass in der Wüste Atacama (s. o.) [219] der Guano noch eine andere, mehr aktive Rolle spielt. Die dort ausgebeuteten, reichen Borax- und Salpeterlager verstand man früher nicht recht zu erklären, obwohl in Harding [220] und D. Forbes [221] kenntnissreiche Geologen der Sache sich angenommen hatten. Sieveking dachte hauptsächlich an die Seepflanzen, Pissis glaubte, dass alkalische Karbonate in Verbindung mit oxydirbaren Zersetzungsprodukten aus der Luft Salpetersäure ausscheiden können [222]. Neuerdings aber analysirt Ochsenius [223] den verwickelten Vorgang, wie folgt: Eine Hebung brachte Steinsalzlager mit Einschlüssen von Mutterlauge zu Tage; letztere floss ab, staute sich im Küstengebirge und erzeugte unter der Einwirkung der dort stets heimischen vulkanischen Kräfte kohlensaures Natron, welch letzteres, unter dem Zutritte von Guano, der dort stets neu sich erzeugt, die eigentlichen Natronsalpeterlager geliefert hat; „die spezifisch schweren Guanotheile blieben dagegen als sogenannter Phosphatguano mit sehr geringem Stickstoffgehalt auf den Inseln und Strandfelsen, auf denen durch die Seevögel die Guanolager abgesetzt wurden, zurück.“

[1] Geikie, Earth-Sculpture, Nature, Vol. IX. S. 51. — [2] Wimmer, Die historische Landschaft, München 1879. — [3] Die Thermopylen, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 5. Jahrgang. S. 539. — [4] Die geologische Untersuchung von Olympia, Gaea, 19. Jahrgang. S. 606 ff. — [5] Lyell, Principles of geology, Vol. I., London 1873. S. 258. — [6] Ch. Darwin, Ueber die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, deutsch von Carus, Stuttgart 1872. S. 458 ff. — [7] Scalicky, Ueber die Ursachen der ungleichen Land- und Wasservertheilung auf der Erde, Gaea, 14. Jahrgang. S. 293. — [8] Dorr, Ueber das Gestaltungsgesetz der Festlandumrisse und die symmetrische Lage der grossen Landmassen, Liegnitz 1874. — [9] Jakob, Unsere Erde, astronomische und physische Geographie, Freiburg 1883. S. 288 ff. — [10] Zöppritz, Der gegenwärtige Standpunkt der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrb., 8. Band, Gotha 1881. S. 49. — [11] Wallace, Island life, London 1880. — [12] H. Jordan, Beständigkeit oder Unbeständigkeit der Kontinente, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 398 ff. — [13] Zöppritz, Die Fortschritte der Geophysik, Wagner's geogr. Jahrbuch, 9. Band, Gotha 1883. S. 18 ff. — [14] Hötler, Verschwundene Meere, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 62 ff. — [15] Blanchard, Milne Edwards und Daubrée, Ueber die Entwickelung des Mittelmeeres, Ausland, 1882, S. 121 ff.; Professor Hébert über den Zustand des Mittelmeeres in der mittleren und späteren Tertiärzeit, ibid. 1882. S. 172 ff. — [16] Liebe, die Seebedeckungen Ostthüringens. Gera 1881. — [17] Suess, Das Antlitz der Erde, 2. Abtheilung, Prag-Leipzig 1885. S. 764 ff. — [18] Haughton, Notes on physical geology, Proceed. of the r. society, Vol. XXVII. S. 534 ff. — [19] Mellard Reade, Limestone as an index of geological time, ibid. Vol. XXVIII. S. 281 ff. — [20] Suess, Das Antl. etc. S. 767. — [21] Ibid. S. 773 ff. — [22] A. v. Humboldt, Kosmos, 1. Band, Stuttgart-Augsburg 1845. S. 301. — [23] Habenicht, Einige Worte über die gerechte Würdigung astronomischer Beobachtungen bei Lösung geologischer Probleme, Gotha 1881. — [24] v. Czerny, Ueber die Entstehung der Gebirge, D. Rundschau f. Geogr. u. Stat., 2. Jahrgang. S. 209 ff. S. 266 ff. S. 327 ff. — [25] Daubrée, Descartes l'un des créateurs de la cosmologie et de la géologie, Paris 1880. — [26] Noak, Ueber die Bildung der Kontinente, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1875. S. 90 ff. — [27] Leconte, Structure and origin of the mountains, Am. Journal

of science and arts, 1878. S. 95 ff. — [28] F. Pfaff, Allgemeine Geologie, Leipzig 1878. — [29] Daubrée, Synthetische Studien zur Experimentalgeologie, deutsch von Gurlt, Braunschweig 1880. — [30] Chancourtois, Compt. rend. du congrès internat. de Paris, Paris 1878. S. 43 ff. — [31] A. Favre, The formation of mountains. Nature, Vol. XIX. S. 103 ff. — [32] Wallace-Ransom, The formation of mountains. Ibid. Vol. XIX. S. 121. — [33] Suess, Die Entstehung der Alpen, Wien 1875. — [34] Heim, Untersuchung über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschlusse an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe, Basel 1878. — [35] Heim, über Stauung und Faltung der Erdrinde, Basel 1878. — [36] Heim. Zum Mechanismus der Gebirgsbildung, Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch., 32. Band. S. 262 ff. — [37] Heim, Ueber Stauung etc., S. 17 ff. — [38] Ibid. S. 19 ff. — [39] Ibid. S. 22 ff. — [40] H. Credner, Elemente der Geologie, Leipzig 1872. S. 220. — [41] H. Reusch, Ueber Vulkanismus, deutsch von Herrmann, Berlin 1883. S. 26 ff. — [42] H. Credner, Elemente etc., S. 228 ff. — [43] Ibid. S. 142. — [44] Spiess, Zur Geschichte der Pseudomorphosen im Mineralreich, Leopoldina 1878. S. 28. ff. S. 53 ff. — [45] G. Keller, Ueber Pseudomorphosenbildung von Gothit. Limonit und Hämatit, München 1882. — [46] Credner, Elemente etc., S. 21. — [47] Ibid. S. 218. — [48] Daubrée, Expériences sur la schistosité des roches et sur les déformations de fossiles corrélatives de ce phénomène; conséquences géologiques qu'on peut en déduire, Bull. de la soc. géol. de France, (3) tome VI. S. 529 ff. — [49] Baltzer, Beiträge zur Geognosie der Schweizer Alpen, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1875. S. 462 ff.; Mechanischer Kontakt von Gneiss und Kalk im Berner Oberland, Bern 1880. S. 225 ff. — [50] F. Pfaff, Der Mechanismus der Gebirgsbildung, Heidelberg 1880. S. 121 ff. — [51] Stapff, Wie am Monte Piottino die Parallelstruktur des Gneisses in Schichtung übergeht, N. Jahrb. f. Min., Geol. und Paläont., 1882. S. 75 ff. — [52] Stapff, Betrachtungen über den Mechanismus der Schichtenfaltung, ibid. 1879. S. 292 ff. S. 792 ff. — [53] Excursionsprotokoll des Schweizer Feldgeologenvereines, September 1882. — [54] Pilar, Grundzüge der Abyssodynamik, Agram 1881. S. 205 ff. — [55] v. Petrinò, Entstehung der Gebirge. Wien 1879. — [56] Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie. Zürich 1880. — [57] Geinitz, Ueber eine neue Hypothese der Gebirgsbildung. Leopoldina, 1883. S. 70 ff. — [58] v. Czerny, Ueber etc., S. 711. — [59] v. Sonklar. Allgemeine Orographie, Wien 1883. S. 195 ff. — [60] Reyer, die Eruptivmassen des südlichen Adamello, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1881. S. 447 ff. — [61] Peters, Die relativ festen Punkte in der Erdrinde, Ausland, 1881. S. 272 ff. — [62] Toula, Die Entstehung der Kettengebirge, ibid. 1877. S. 301 ff. — [63] Toula. Ueber den Bau und die Entstehung der Gebirge, Wien 1876. — [64] Heim. Ueber Stauung etc., S. 25. — [65] Ibid. S. 31. — [66] G. A. Darwin, The formation of mountains and the secular cooling of the earth, Nature, Vol. XIX. S. 313. — [67] Fisher, The formation of mountains, ibid. Vol. XIX. S. 172 ff. — [68] Fisher. Physics of the earth's crust, London 1881. S. 42. — [69] Bauschinger, Bemerkungen zu einigen Stellen in Heim's Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, Zeitschr. f. Bauwesen, 1879. S. 269 ff. — [70] Belli, Pensieri sulla consistenza e sulla densità della crosta solida terrestre, Milano 1851. — [71] G. A. Darwin, On the mechanical effects of barometrical pressure on the earth's surface. Phil. Mag., 1882. S. 409 ff. — [72] Bauschinger, Bemerkungen etc., S. 282. — [73] Zeune, Hebungen und Senkungen des Erdbodens, (Berghaus) Ann. d. Erd-. Völker- und Staatenkunde, 1836. S. 221 ff. — [74] Uzielli, Sulle oscillazioni terrestre. Bull. della soc. geogr., 1883. S. 141 ff. — [75] Issel, Sulle oscillazioni lente del suolo o bradisismi, Genova 1883. — [76] v. Bauernfeind, Das bayrische Präcisionsnivellement. Sechste Mittheilung, München 1883. S. 4. — [77] Reyer, Höhlen und Einstürze, Gaea, 18. Jahrgang. S. 628 ff. — [78] Buckland. Ueber die Entstehung der Höhlen, N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont., 1837. S. 74. — [79] Baumann. Eine Höhle im Wendelstein, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenvereins, 9. Jahrgang. S. 261 ff. — [80] Mohr, Ueber die Entstehung der Kalkhöhlen, Gaea, 6. Jahrgang. S. 42 ff. — [81] Fruhwirth, Ueber Höhlen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenv., 14. Jahrgang. S. 1 ff. — [82] Krejcí, Ueber die Exhalationen auf dem Gipfel des Kahlenberges bei Lobositz, Sitzungsber. d. k. böhm. Ges. d. Wissensch., 1881. S. 59 ff. — [83] Huxley, Physiographie. eine Einleitung in das Studium der Natur. Leipzig 1884. S. 149 ff. — [84] Marinelli, La terra, Milano 1884. S. 393. — [85] Landerer, Eine neu aufgefundene Stalaktitenhöhle, Gaea, 12. Jahrgang. S. 566. — [86] Schwalbe, Beitrag zur Frage über die Entstehung der Eishöhlen, Mittheil. d. Sektion f. Höhlenkunde des öst. Touristenkl., 1883, Nr. 2; Beobachtungen an einige

Eishöhlen, Verhandl. d. physik. Ges. zu Berlin vom 17. November 1882: Ueber Eishöhlen, ibid. 19. Januar 1883; Ueber die lokale Verbreitung der Eishöhlen, Centralorgan f. d. Inter. d. Realschulw., 1884, 1. u. 2. Heft. — [87] Krenner, Die Eishöhle von Dobschan, Budapest 1874; Pelech, Das Stracenaer Thal und die Dobschaner Eishöhle, Iglau 1878; Lowe, The ice caverne of Dobschan, Nature, Vol. XX. S. 151 ff. — [88] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 251. — [89] Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 8. Band. S. 53. — [90] E. Richter, Zur Frage über die Entstehung der Eishöhlen, Petermann's geogr. Mittheil., 1876. S. 316. — [91] Suess, Das Antl. etc., 1. Abtheilung, Prag-Leipzig 1883. S. 240 ff. — [92] Gümbel, Geognostische Beschreibung des Königreiches Bayern, 2. Band, München 1861. S. 372 ff. — [93] Suess, Das Antl. etc., S. 302 ff. — [94] Supan, Grundzüge etc., S. 305 ff. — [95] Suess, Das Antlitz etc., 2. Abth., S. 351. — [96] Ibid. S. 444 ff. — [97] Ibid. S. 462 ff. — [98] Ibid. S. 480. — [99] Ibid. S. 534. — [100] Ibid. S. 591. — [101] Ibid. S. 647 ff. — [102] Ibid. S. 689. — [103] Ibid. S. 698 ff. — [104] Ibid. S. 713 ff. — [105] A. Heim, Ueber Bergstürze, Neujahrsblatt d. naturf. Ges. zu Zürich, 1882. — [106] Pollack, Beiträge zur Kenntniss der Bodenbewegungen, Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1882. S. 565 ff. — [107] Ibid. S. 584. — [108] Rothpletz, Zur Mechanik der Bergstürze, Zeitschr. d. d. geol. Ges., 32. Band. S. 430 ff.; 33. Band. S. 540 ff. — [109] Buss-Heim, Der Bergsturz von Elm, Zürich 1881; The landslip at Elm, Nature, Vol. XXIV. S. 505 ff. — [110] Hartung, Das alte Bergsturzgebiet von Flims, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 19. Band. S. 161 ff. — [111] A. Heim, Der alte Bergsturz von Flims, Jahrb. d. schweiz. Alpenklubs, 18. Jahrgang. S. 295 ff. — [112] Landslips, Nature, Vol. XXII. S. 505 ff.; Archibald, The Naini-Tal landslip, ibid. S. 533; Ward, Landslips, ibid. Vol. XXIII. S. 144 ff.; Read, Landslips, the Chesire subsidence, ibid. S. 219 ff. — [113] Lichtenberg, Ueber den neulichen Erdfall von Wintzingerde, Math. u. phys. Schriften, herausgeg. v. Kries, 3. Band, Göttingen 1804. S. 39 ff. — [114] Reyer, Ueber die Bewegung loser Massen und ihre Rolle bei der Modellirung der Erdoberfläche, Gaea, 18. Jahrgang. S. 277 ff. — [115] Boussinesq, Essai théorique sur l'équilibre des massifs pulvérulentes comparé à celui de massifs solides et sur la poussée des terres sans cohésion, Mém. cour. par l'acad. Belgique, Vol. XI., Bruxelles 1876. — [116] H. Darwin, On the horizontal thoust of a mass of sand, Proc. of the institut of civil engineers, Vol. LXXI, 1. — [117] B. Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie, 1. Band, Bern-Chur-Leipzig 1844. S. 333 ff. — [118] Hahn, Inselstudien, Leipzig 1883. S. 166 ff. — [119] Supan, Grundzüge etc., S. 234. — [120] v. Czerny, Die Wirkungen der Winde auf die Gestaltung der Erde, Ergänzungsheft N. 48 zu Petermann's geogr. Mittheil. Gotha 1876. S. 33 ff. — [121] Ibid. S. 38. — [122] Lullies, Geographische Reisen in Asien während der Jahre 1876—1882, Wagner's geogr. Jahrb., 9. Band. S. 591. — [123] H. Credner, Eine Exkursion der deutschen geologischen Gesellschaft durch das sächsische Gebirge, Zeitschr. f. d. ges. Naturw., 44. Band. S. 213 ff. — [124] Zöppritz, Die Fortschr. etc., 10. Band. S. 35 ff. — [125] Lochtin-Kohn, Historische Angaben über die Veränderungen, die in den Niederungen des Amu vorgegangen sind, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 1. Jahrgang. S. 18 ff. — [126] A Heim, Ueber die Verwitterung im Gebirge, Basel 1879. — [127] Ibid. S. 8. — [128] Pape, Ueber das Verwitterungsellipsoid wasserhaltiger Krystalle, Ann. d. Phys. u. Chem., 124. Band, S. 329 ff.; 125. Band S. 513 ff. — [129] A Heim, Ueber Verw., S. 12. — [130] Supan, Grundzüge etc.. S. 237 ff. — [131] Ibid. S. 251. —[132] Huxley-Jordan, Physiogr., S. 149. — [133] Reyer, Studien über das Karstrelief, Wien 1881. — [134] Tietze, Zur Geologie der Karsterscheinungen, Jahrb. d. k. k. geol. Reichanstalt, 1880. S. 729 ff. — [135] v. Mojsisovics, Zur Geologie der Karsterscheinungen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 11. Band. S. 111 ff. — [136] Hörnes, Zur Erklärung der Karsterscheinungen, Gaea, 16. Jahrgang. S. 699. — [137] Hörnes, Zur Würdigung der theoretischen Speculationen über die Geologie von Bosnien, Graz 1882. — [138] v. Guttenberg, Der Karst und seine forstlichen Verhältnisse, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 12. Band. S. 28. — [139] Ibid. S. 55 ff. — [140] Simony, Beiträge zur Physiognomik der Alpen, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 5. Jahrgang. S. 33 ff. — [141] Fugger, Der Untersberg; wissenschaftliche Beobachtungen und Studien, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 11. Band. S. 191 ff. — [142] Heim, Ueber Verw. etc., S. 23. — [143] Ibid. S. 26 ff. — [144] Zöppritz, Der gegenw. Standp. etc., 8. Band. S. 55 ff. — [145] Barnard, Die neueren Fortschritte der Wissenschaft, deutsch von v. Klöden, Berlin 1869. S. 22. — [146] Supan, Grundzüge etc., S. 243 ff. — [147] Pechuël-Löche, Westafrikanische Laterite, Ausland, 1884. S. 401 ff. — [148] Heim, Ueber Verw. etc., S. 35. — [149] Milne, Across Europa and Asia;

travelling notes, Geol. Mag., 1878. S. 64 ff. — [150] Uhlmann, Neue Untersuchungen über den Schuttkegel der Tinière bei Villeneuve, sein Alter und die in ihm enthaltenen Thierreste, Gaea, 5. Jahrgang. S. 297. — [151] v. Sonklar, Allg. Orogr., S. 222 ff. — [152] Daubrée-Gurlt, Synth. Studien etc., S. 267 ff. — [153] v. Lasaulx, Die Spalten in den Gesteinen, Humboldt, 2 Jahrgang. S. 133 ff. — [154] Kjerulf, Ein Stück Geographie in Norwegen, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 14. Band. S. 129 ff. — [155] Hartung, Eine Thalspalte, ibid. 15. Band. S. 161 ff. — [156] Reusch, Träk of havets virkninger par Norges Vestkyst, Nyt. Mag. f. Naturvidenskaberne, Vol. XXII. S. 169 ff. — [157] Tietze, Einige Bemerkungen über die Bildung von Querthälern, Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1882. S. 685 ff. — [158] Ibid. S. 707 ff. — [159] Stur, Ueber die Ablagerungen des Neogen, Diluvium und Alluvium im Gebiete der nordöstlichen Alpen und ihrer Umgebung, Sitzungsber. d. k. k. Ak. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 1855. S. 477 ff. — [160] Ami Boué, Ueber die kanalartige Form gewisser Thäler und Flussbetten, Petermann's geogr. Mittheil., 1865. S. 199 ff. — [161] Penck, Norwegens Oberfläche, Ausland, 1882. S. 190 ff. — [162] Heim, Untersuchungen etc., S. 271 ff. — [163] Warren, Valley of the Minnesota River and of the Mississippi River, Am. Journal of science and arts, 1878. S. 417 ff. — [164] Krümmel, Beiträge zur allgemeinen Orographie, Ausland, 1882. S. 30 ff. — [165] Penck, Einfluss des Klimas auf die Gestaltung der Erdoberfläche, Verhand. d. III. d. Geographent., Berlin 1883. S. 81. — [166] Ibid. S. 91. — [167] Dutton, The physical geography of the Grand Cannon District, Sec. Ann. Rep. of the Un. St. Geol. Survey 1880—1881, Washington 1882. S. 47 ff. — [168] v. Richthofen, Recension hiezu, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 11. Band. S. 313 ff. — [169] R. v. Schlagintweit, Der grosse Arkansas- und Clear-Creek-Canyon, Gaea, 17. Jahrgang. S. 65 ff. — [170] Supan, Grundzüge. S. 265 ff. — [171] Heim, Was ist und was will Geologie?, Zürich 1872. S. 29. — [172] Löwl, Ueber die Entstehung der Durchbruchsthäler, Petermann's geogr. Mittheil., 1882. S. 405 ff. — [173] Löwl, Ueber Thalbildung, Prag 1884. — [174] Löwl, Ueber das Problem der Flussdurchbrüche, Verh. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1883. S. 3. — [175] Grundzüge etc., S. 315 ff. — [176] K. Schneider, Studien über Thalbildung in der Vordereifel, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 18. Band. S. 27 ff. — [177] Reyer, Aenderung der Flussläufe in Toscana, ibid. 18. Band. S. 287 ff. — [178] Schneider, Studien etc., S. 46. — [179] Bessels, Die amerikanische Nordpolarexpedition, Leipzig 1879. S. 153. — [180] Supan, Grundzüge etc., S. 270. — [181] Bodmer, Terrassen und Thalstufen der Schweiz, Gaea, 17. Jahrgang. S. 413 ff. — [182] Ibid. S. 418 ff. — [183] Mühlberg, Eine für die Bestimmung des Alters und der Entstehung der Flussterrassen entscheidende Thatsache, Mittheil. d. Aarg. naturf. Gesellsch., 3. Heft. S. 177 ff. — [184] Penck, Ueber Periodicität der Thalbildung, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 11. Band. S. 40 ff. — [185] Ibid. S. 44 ff. — [186] Ibid. S. 49. — [187] Supan, Grundzüge etc., S. 353 ff. — [188] I. Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. von F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 779 ff. — [189] Humboldt, Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen, Stuttgart-Augsburg 1859. S. 1 ff. — [190] Ibid. S. 16 ff. — [191] Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, Leipzig 1878. S. 180 ff. — [192] H. J. Klein, Die Gesetze der Wüstenbildung, Gaea, 13. Jahrgang. S. 646 ff. — [193] Ratzel, Physikalische Geographie und Naturcharakter der vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878. S. 305. — [194] Wojeikoff, Ueber die Waldlosigkeit der nordamerikanischen Prairieen, Ausland, 1877. S. 458 ff. — [195] Ueber die Ursache des Steppenklima's des nordamerikanischen Westens, ibid. 1882. S. 47 ff. — [196] Ratzel, Physik. Geogr. etc., S. 378 ff. — [197] R. v. Schlagintweit, Die Prairieen des amerikanischen Westens, Gaea, 10. Jahrgang. S. 449 ff. — [198] Humboldt, Ansichten etc., S. 5. — [199] Die Wüsten Nordamerika's, Ausland, 1877. S. 601 ff. — [200] Humboldt, Ansichten etc., S. 51 ff. — [201] Nehring, Die ehemalige Verbreitung der Lemminge in Europa, Gaea, 16. Jahrgang. S. 352 ff.; Ueber die letzten Ausgrabungen bei Thiede, ibid. 19. Jahrgang. S. 88 ff. — [202] Jentzsch, Ueber Baron v. Richthofen's Lösstheorie und den angeblichen Steppencharakter Centraleuropas am Schlusse der Eiszeit, Schr. d. phys.-ökon. Ges. zu Königsberg, 18. Jahrgang. S. 161 ff. — [203] Klein, Die Gesetze etc., S. 652. — [204] Lomonosow, L'expédition au Lob-Nor par N. Prshewalski, Bull. de la soc. de géogr., 1879. S. 586. — [205] Barrande, Le chemin de fer de l'Asie centrale, ibid. 1879. S. 376. — [206] Congrès internat. géol., compte rendu de la 2me session, Bologne, 1882. S. 233 ff. — [207] Der geologische Bau der Sahara, Gaea, 20. Jahrg. S. 623 ff. — [208] Klein, Die Gesetze etc., S. 723. — [209] Reiter, Die Kalahara, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 5. Jahrg. S. 111 ff. — [210] Pošepný, Zur Genesis der Salzablagerungen, besonders jener im

nordamerikanischen Westen, Wien 1878. — [211] Tietze, Zur Theorie der Entstehung der Salzsteppen und der angeblichen Entstehung der Salzlager aus Salzsteppen, Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1877. S. 375 ff. — [212] Ch. Darwin, Die Bildung der Ackererde durch die Thätigkeit der Würmer mit Betrachtungen über deren Lebensweise, deutsch von Carus, Stuttgart 1882. — [213] Reichenbach, Darwins neuestes Werk über die Arbeit der Würmer, Humboldt, 1. Jahrgang. S. 59 ff. — [214] Serpa Pinto's Wanderungen quer durch Afrika, Gaea, 17. Jahrgang. S. 400. — [215] H. Credner, Elem. etc., S. 189. — [216] Supan, Grundzüge etc., S. 613. — [217] A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885. S. 404. — [218] A. Böhm, Ueber Schafschliffe, Mittheil. d. d. u. öst. Alpenver., 8. Jahrgang. S. 92 ff. — [219] Die Salzwüste Atacama, Petermann's geogr. Mittheil., 1879. S. 301 ff. — [220] Harding, The desert of Atacama (Bolivia), Journal of the r. geogr. society, 1877. S. 252. — [221] D. Forbes, Report on the geology of South-America, Part I, London 1861. — [222] Pissis, Salpètres et Guanos du desert d'Atacama, St. Denis 1877. S. 22 ff., S. 44 ff. — [223] Ochsenius, Chile, Land und Leute, Leipzig-Prag 1884. S. 64.

Anhang (Neunte Abtheilung).

Biologie und physische Erdkunde in Wechselwirkung*).

§. 1. **Anthropogeographie.** Geschichte und Erlebnisse des Menschengeschlechtes zu den Naturverhältnissen, unter welchen dasselbe in seinen verschiedenen Verzweigungen zu leben gezwungen ist, in kausale Beziehung zu setzen, das musste denkenden Geographen stets als eine lohnende Aufgabe erscheinen. In der 1775 niedergeschriebenen Abhandlung Kant's „Von den verschiedenen Racen der Menschen" [1] treten uns solche Gedanken bereits recht bestimmt entgegen, und Kant's eifriger Schüler, in dessen Gedankengang freilich auch genug ursprünglich von Spinoza**) und Montesquieu herrührende Ideen mit unterlaufen, war Herder, dessen vielfach eigenartige Ansichten über die Abhängigkeit des Menschen von der ihn umgebenden Natur von P. Lehmann [3] zum Gegenstande einer reizvollen Darstellung gemacht wurden***). Weit über Herder hinaus gieng der geniale Carl Ritter, dessen vergleichende Erdkunde, von Peschel viel

*) Es möge nochmals, wie schon in der Vorrede zum ersten Bande, darauf hingewiesen sein, dass dieser Anhang eine selbstständige Bedeutung nicht beansprucht, dass vielmehr lediglich für solche Leser des Buches, welche die Erdkunde nicht als Hauptfach betrachten, eine kurze Andeutung über die Anwendung geographischer Forschungsresultate auf die Organismenlehre zu geben beabsichtigt ward.

**) Diess ist nicht etwa so zu verstehen, als habe der grosse niederländische Philosoph sich selbst mit geographischen Dingen befasst. Lediglich seine teleologische Weltanschauung spiegelt sich in Herder's anthropogeographischen Ansichten zum öfteren wieder, so namentlich der berühmte Lehrsatz von der Unfreiheit des Menschen [2]: „Es ist unmöglich, dass der Mensch nicht ein Theil der Natur sei, und dass er nur Veränderungen erleiden könne, welche aus seiner Natur allein verstanden werden können, und deren vollständige Ursache er ist."

***) Herder stellte sich z. B. auf einen ganz richtigen Standpunkt hinsichtlich der Beurtheilung des Einflusses, welchen Höhenlage und Küstengliederung in kultureller Beziehung auf ein Volk ausüben [4], doch finden sich freilich bei ihm auch unklare und phantastische Behauptungen vor, von denen Kant mit vollem Grunde sagen durfte, dass mehr dahinter gesucht würde, als wirklich darin stecke [5]. Gleichwohl wird man Ritter nicht Unrecht thun, wenn man Herder als seinen Vorläufer bezeichnet; die Betrachtungen über den erziehlichen Einfluss, den eine ungünstige Boden- und Landesbeschaffenheit auf die Phönicier hatte [6], klingen ganz an Stellen in Ritter's Werken an.

zu ungünstig beurtheilt, erst die neuere Zeit wieder nach ihrem wahren Werthe zu würdigen sich anschickt*). Ritter war allerdings, was Peschel an ihm tadelt, Teleologe, allein der von ihm festgehaltene Begriff einer höheren Zielstrebigkeit ist auch der fortgeschrittenen Naturwissenschaft unserer Tage keineswegs fremd und verdiente, selbst wenn eine schonungslose Philosophie nicht umhin könnte, mit ihm zu brechen, schon um der grossen Dienste willen, die er hodegetisch den Forschern geleistet hat, in Ehren gehalten zu werden**).

Mit Ratzel's glücklicher Wortbildung hat die Anthropogeographie zugleich erhalten, was ihr trotz der in sämmtlichen Werken Ritter's zahlreich verstreuten Keime und Andeutungen noch gemangelt hatte, nämlich eine systematische Darstellung in Form eines abgeschlossenen Werkes [13]***). Der Zweck, welchen wir in diesem Paragraphen zu erreichen streben, kann kaum besser erreicht werden, als wenn wir unsere Leser mit der allgemeinen Disposition des Ratzel'schen Werkes bekannt machen. Ratzel unterscheidet Naturwirkungen, deren Eingreifen ein vorübergehendes Ereigniss, z. B. das Standhalten einer Völkerwanderung an einem Gebirgszuge†), und

---

*) Hiezu trug an seinem Theile Spörer bei, dessen nur freilich etwas undurchsichtig geschriebener und von der Stofffülle fast erdrückter Essay über Das, was sich der Autor als „historische Erdkunde" zurechtlegt [7], viel Material zum besseren Verständniss Ritter's beibringt. In kritischer Beleuchtung aller der in neuerer Zeit über Ritter erschienenen Schriften hat H. Wagner die Thatsache festgestellt, dass ein Wiederanknüpfen an die Forschungsmethode jenes genialen Mannes heute noch, und selbst bei Fragen, die dem Bereiche der physikalischen Geographie angehören, eine Nothwendigkeit sei [8]. Unter jenen Spezialarbeiten steht obenan Marthe's feinsinnige Rede zu Ritter's Säkularfeier [9]; die mehr pädagogische Seite der Sache hat schon in früherer Zeit einen sehr sorgfältigen Bearbeiter in v. Liechtenstern [10], neuerdings auch in Oberländer [11] gefunden.

**) Wir citiren nur folgenden, auch von dem Gegner als gross gedacht anzuerkennenden Satz [12]: „Erst alle Theile des Erdballes im Zusammenhange, d. h. in ihrer inneren und äusseren gegenseitigen Spannung, mit allen ihnen inwohnenden Kräften, in gegenseitiger lebendiger Zusammenwirkung genommen, bilden das planetarische Ganze, das wir unser Erdsystem nennen, einen grossen, gottgeschaffenen Organismus, der sich in dem Entwickelungsprocesse seiner vernünftigen, geistig begabten Bevölkerung, der Menschheit selbst, überall in seinen Einwirkungen nach Jahrtausenden offenbart hat."

***) Neben dem Werke selbst sei zur allgemeinen Orientirung die auch von uns hier benützte „Selbstanzeige" des Verfassers [14] empfohlen.

†) Die Völkerwanderungen als geographisches Problem erfasst zu haben, ist gleichfalls ein Verdienst Ratzel's [15]. Es wird gezeigt, dass die Verhältnisse sich meist sehr komplicirt erweisen, dass Gebirge ein ziemlich, Flüsse ein wenig erhebliches Hinderniss für Völkerzüge bilden, und dass sogar Flussthäler (Rhein, Irawaddi u. a.) als Strassen benützt wurden, dass dagegen Wüsten und Meere die Bedingungen dauernder Völkerscheiden weit treuer erfüllten. Mit Bezug auf diese letzteren sagt Ratzel [16]: „Die Bevölkerungen der Inseln sind in einigen Fällen völlig andere, als die des nächstgelegenen Festlandes oder der nächsten grösseren Insel; aber auch da, wo sie ursprünglich derselben Race oder Völkergruppe angehörten, sind sie immer weit von derselben verschieden, und zwar, kann man hinzusetzen, in der Regel weiter, als die entsprechenden festländischen Abzweigungen dieser Race oder Gruppe unter einander." In dem grösseren Werke bringt Ratzel, der übrigens auch die der Völkerwanderung gegenüber stehende geregelte Auswanderung an dem typischen Beispiele China's behandelt hat, diese Züge der Menschen in geistreicher Weise in Verbindung [17] mit dem von Moritz Wagner formulirten Migrationsgesetz der Organismen [18]. Dieses, von seinem Urheber mehr nur als eine Zusatz-

Naturwirkungen, deren Eingreifen einen dauernden Zustand, z. B. einen geistigen oder materiellen Fortschritt eines Theiles der Menschheit, zur Folge hat [20]. Trefflich ausgewählte Beispiele für die Möglichkeit solcher Entwickelungsfortschritte findet man in dem Vortrage „Darwinismus in der Völkerentwickelung", welchen A. Kirchhoff vor dem Plenum der Magdeburger Naturforscherversammlung gehalten hat. Mit steter Beziehung auf seine Vorläufer Ritter, Kapp, Kriegk, Kohl*), Kutzen u. A., denen wohl auch der geistvolle Philosoph K. Ch. F. Krause hinzuzurechnen sein möchte**), untersucht Ratzel, wie sich im einen oder anderen Sinne die Lage und Gestalt der menschlichen Wohnsitze [24] — Kontinente, Inseln, Halbinseln, Grenzlinien der Länder, wie sich ferner Raumverhältnisse [25] und Oberflächengestalt [26] — Unebenheiten der Erdoberfläche, Ebenen, Steppen, Wüsten, Küsten —, dann das Mitwirken des flüssigen Elementes [27] — Meer und Seen, Flüsse und Sümpfe —, endlich das Klima [28] und die Pflanzen- und Thierwelt [29]***) im Entwickelungsleben des Menschen bethätigten und bethätigen mussten†). Es gelingt so, eine Basis zu schaffen für eine streng wissenschaftliche Völkerkunde, welche, wie wir vernehmen, die Fortsetzung des Ratzel'schen Werkes bilden soll. Diese

---

bestimmung zum Darwin'schen Gesetze der Artenentstehung eingeführt, in Wirklichkeit aber eine sehr einschneidende Modifikation desselben darstellend. konstatirt an einer Fülle gut gewählter Beispiele die Artentrennung durch Hochgebirge, Flüsse und Meere. Besonders bemerkenswerth erscheint daselbst die auch geophysikalisch interessante Definition der Gebirgsstufen und Inseln als natürlicher Versuchsstationen zu neuen Racenbildungen [19]. — In origineller Weise weiss Meitzen (vgl. S. 512) an der Hand der Richthofen'schen Lösstheorie den Nachweis zu erbringen, dass für die grosse germanisch-indische Völkerwanderung gewiss keine erhebliche Zustandsveränderung des angeblichen Stammsitzes dieser Völker, der Hochebene Pamier, angenommen werden dürfe.

*) Kohl's wesentliche Bedeutung liegt darin, dass er das Entstehen von Städte-Ansiedelungen zuerst als ein in den natürlichen Zuständen eines bestimmten Erdstriches begründetes nachgewiesen hat [21]. Für die von ihm angeführten Regeln der Weiterbildung jeder — ursprünglich meist kreisrunden oder quadratischen — Stadt liefert die Neuzeit Belege in Hülle und Fülle. Janssen [22] führt verschiedene der von Kohl nur aphoristisch hingeworfenen Gedanken weiter aus.

**) Wir haben hier besonders Krause's Spekulationen [23] über die relativen Vorzüge der einzelnen Erdtheile im Auge. Der Weltplan fordert ihm zufolge: „Freie Geselligkeit und Freundschaft der Menschheiten auf Erdtheilen der zweiten Theilung und Verein derselben in Menschheiten auf Erdtheilen der ersten Theilung oder auf den Haupterdtheilen."

***) Ueber die eminente Bedeutung pflanzengeographischer Grenzen in der Völkerkunde belehrt z. B. Klutschak's Aussage [30], dass die Grenze des Holzwuchses auch zugleich die Grenze der Jagdgebiete zwischen den so ungemein verschiedenen Nationen der Eskimo's und Indianer sei.

†) Durch Ratzel's Wort [31] von der Nothwendigkeit einer „Lehre von den Entfernungen", zu welcher Hahn mit Rücksicht auf Galton's isochronische Passatkarte einen hübschen Beitrag lieferte [32], ist auch die Berechtigung von Paultischke's Verkehrsgeographie [33] erhärtet, von der man sehr unglücklich behaupten wollte, sie repräsentire nur einen „Auszug aus dem Kursbuch". Dieselbe erscheint vielmehr als ein integrirender Bestandtheil Dessen, was Götz wirthschaftliche Geographie genannt [34] und sehr mit Recht als die — in Fachwerken oft vermisste — „physische Grundlage der Nationalökonomie" bezeichnet hat [35]. Des genannten Schriftstellers treffliche Monographie der Donauländer [36] zeigt am besten, welches Ziel er verfolgt.

in neuerer Zeit zu hoher Vollendung gelangte Disciplin liegt völlig ausserhalb des Rahmens, in welchem sich unsere Darstellung der physischen Erdkunde zu bewegen hat*).

§. 2. **Thiergeographie.** Die geographische Verbreitung der Thiere musste in dem Maasse das Interesse denkender Männer auf sich ziehen, als überhaupt mit der Erweiterung des geographischen Horizontes die Kunde von neuen Arten und Gattungen im Abendlande sich verbreitete. Zöckler führt aus der patristischen Periode einige sehr merkwürdige Fälle solch' klarerer Auffassung an**). Systematisch blieb die Lehre lange unbearbeitet. „Die Ortskunde der Thiere ist viel früher entstanden, aber viel später gereift, als die Pflanzengeographie. Mit Benützung wichtiger Vorarbeiten Buffon's und Pallas' entwarf E. A. W. Zimmermann, Professor der Mathematik in Braunschweig, 1777 die erste Erdkarte für die Verbreitung der Säugethiere" [40]. Zimmermann's Werk (vgl. Band I, S. 19 und Band II, S. 485) ist nicht blos durch diesen kartographischen Versuch, sondern mehr noch durch manche der an diese geknüpften Reflexionen achtungswerth***). Es folgen die rastlosen Bemühungen eines Owen und Treviranus um die Wirbelthiere im Allgemeinen, eines Schlegel um die Schlangen, eines A. Günther um die Fische u. s. w.†); so sah sich Andreas Wagner in den Stand gesetzt, uns neue und treffliche Karten der Verbreitungsgrenzen zu liefern, die sich in den Abhandlungen der k. bayr. Akademie für die Jahre 1844 und 1846 finden, und als auch durch die Bemühungen eines Ehrenberg††), Wallich, Huxley, Lovén, Nordenskiöld u. A. und durch die damit Schritt haltenden Verbesserungen des Dredsch-Verfahrens die submarine Zoologie einen ungeahnten Aufschwung nahm, da sammelten sich rasch die Materialien, auf deren Ordnung die systematischen Werke von Schmarda [44] und Wallace [45] beruhen. Zumal das letzterwähnte ist als klassisch anerkannt.

Der wichtigste von all' den Faktoren, welche bestimmend auf die Verbreitung der Thiere einwirken, ist selbstverständlich die Temperatur, so dass sowohl gegen die Pole hin, als auch bei'm vertikalen

---

*) Es schwebt uns bei dieser Behauptung der durch G. Gerland [37] geführte Nachweis vor, dass die Sprache und der „an bestimmte Gesetze gebundene Sprachentausch" die eigentliche Basis der Ethnologie bilden.

**) Der grosse Kirchenvater Basilius, sonst in Vorurtheilen aller Art befangen, äussert doch gesunde Ansichten betreffs der Fahrten, welche die Fische zur Laichzeit in genossenschaftlichem Zuge unternehmen [38]. Weit höher steht der sogenannte „hibernische Pseudo-Augustinus", der überhaupt in Sachen der Erdkunde sich gut beschlagen zeigt und aus geographischen Gründen sich für eine dereinstige trockene Verbindung zwischen gewissen Festländern und Inseln erklärt [39].

***) Insbesondere gilt diess von dem Versuche, das Auftreten gewisser Thierformen mit den Krümmungen der Isothermen an den Rändern der Kontinente (S. 253) in ursächlichen Zusammenhang zu bringen.

†) Eine auch geschichtlich zu beachtende Studie über das Verhalten der verschiedenen Zoologen und Zoogeographen den Selachiern gegenüber hat Eichwald publicirt [41]. In populärer Weise schildert die Austheilung der Fische in den Erdgewässern Dambeck [42].

††) Von diesem Altmeister der Thierkunde rühren mit die ersten brauchbaren Vorschriften her [43], aufgeholte Grundproben auf ihren Gehalt an Lebewesen zu untersuchen.

Aufsteigen von der Erde aus das Thierleben ein immer einförmigeres wird*). Temperaturexcesse sind für das Fortkommen einer bestimmten Spezies weit schädlicher, als niedrige Mitteltemperaturen. Des Weiteren kommen gewisse von Ch. Darwin ermittelte Momente wesentlich in Betracht, durch welche den Thieren das Anpassen an ihre Umgebung erleichtert wird. Namentlich die sogenannten Schutzfarben spielen hier eine grosse Rolle**).

Auf die von Wallace durchgeführte Eintheilung der Thiere in geographische Regionen können wir hier, als zu weit in das systematische Gebiet abführend, um so weniger eingehen, als uns doch sofort die Pflanzengeographie nochmals zu demselben Gegenstande zurückführen wird. Von sonstigen Problemen, die gerade für die Physik der Erde als solche eines gewissen Interesses sich rühmen dürfen, sei nur eines, und zwar ein noch immer der endgültigen Lösung harrendes erwähnt, nämlich dasjenige der Vogelflugslinien***).

---

*) Auch hier hat man sich vor Ueberschätzungen in Acht zu nehmen. Durch Dana und Fuchs [46] ist festgestellt, dass für die marine Fauna die Diaphanitätsverhältnisse des Meerwassers — vgl. S. 318 — von mindestens eben so hoher Bedeutung sind, wie die Wärmeverhaltnisse. Litoralthiere (Echinodermen und Würmer), die sich aus der Litoralfauna über die 400 m-Linie hinaus in die eigentlich pelagische Fauna verirren, sind durchweg Nachtthiere, die für Lichteinwirkung abgestumpft zu sein scheinen. Da die Durchsichtigkeit der Oceane früher kaum eine erheblich andere gewesen sein dürfte, als sie heute ist, so scheint die vielgehörte Behauptung, die Tiefseefauna unserer Tage schlage die Brücke zur Fauna der geologischen Vorzeit, nicht das Richtige zu treffen. Dafür, dass die Meeresbewohner sozusagen zwei über resp. unter einander gelagerte Schichten bilden, die sehr wenig mit einander gemein haben, lieferten Milne Edwards Forschungen auf dem „Travailleur" wichtige Anhaltspunkte; merkwürdig ist die von ihm erkannte und durch viele Holothurien belegte Thatsache, dass der Lichtmangel das schöne Farbenspiel nicht beeinträchtigt [47]. Pflanzen steigen nach Milne Edwards bei weitem nicht so tief hinab, wie niedrig organisirte Thiere (vgl. S. 346). Eine besondere Eintheilung ist diejenige Th. Studer's [48]: Die Bewohner der pelagischen Zone können während ihrer ganzen Lebensdauer frei schwimmend im Meere leben, während in der subpelagischen Zone sich unter diese Thiere auch solche mischen, die nur während ihres Larven- und Geschlechtslebens frei schwimmen, sonst aber dem festen Grunde angehören. — Die Thierwelt der Süsswasserseen ist nach Forel [49] eine litorale, pelagische und der Tiefenregion angehörige; erstere entstand und entsteht gleichzeitig durch aktive und passive Einwanderung aus den Seen anderer Länder, die zweitgenannte bildete sich durch passive Einwanderung der schon differentiirten pelagischen Thiere, und die Tiefseefauna gieng aus der Differentiirung der schon angepassten Litoralfauna hervor. Die Analogieen zwischen der lakustren und maritimen pelagischen Fauna erklärt Forel [50] für zahlreich und augenfällig.

**) So ist es z. B. v. Reichenau geglückt, den überzeugenden Nachweis dafür zu führen [51], dass die Eier der verschiedenen Schwalben-Arten in dem Maasse mehr eine auffallende, gegen ihre Nachbarschaft abstechende Farbe besitzen, als schon durch die Art der Nistung von selbst für den Schutz der Eier gesorgt ist.

***) Aelteren Untersuchungen von Derham, De Serres, Brehm, v. Middendorff über diese schwierige Frage ist die geistvolle Arbeit des Finnen Palmén gefolgt, betreffs deren wir uns allerdings auf das übrigens sehr eingehende Referat von Ph. Müller beziehen müssen [52]. v. Middendorff hatte bereits angeregt, auf einer Karte für eine bestimmte Art die Isepiptesen, d. h. die alle Orte von gleichem mittleren Ankunftstage verbindenden Kurven zu verzeichnen, und hiedurch war man denn auch zu einigen der Vergleichung fähigen Ergebnissen gelangt. Palmén nimmt im Sinne der Darwin'schen Theorie an, dass die Wanderungen ursprünglich nicht periodisch, sondern mehr nur gelegentlich —

§. 3. **Pflanzengeographie.** Bereits im ersten Bande (S. 365) ward erwähnt, dass das Wort „Pflanzengeographie" zuerst von Menzel gebraucht ward*), Tournefort, Linné, Saussure und Wahlenberg sind diejenigen Forscher, durch deren vereinte Bestrebungen die junge Disciplin am Ende des vorigen Jahrunderts bereits einen recht achtunggebietenden Stand erreicht hatte, Wahlenberg hatte namentlich auch erkannt [59], dass die Variabilität der Temperatur — wie auch in der Zoogeographie (s. o.) — ein weit einflussreicherer Faktor ist, als die Mitteltemperatur, und Humboldt war es möglich geworden [60], durch seine in den Tropen gemachten Erfahrungen und durch seine Isothermlinien jene Wahrheit in der mannigfaltigsten Weise zu bekräftigen**). Durch die Werke von Schouws [63] und De Candolle [64], durch welch letzteres namentlich die klimatologischen Vorbedingungen für das Gedeihen gewisser Pflanzenformen im Geiste einer klassischen Methodik ermittelt wurden***), ward der Boden bereitet zu dem in seiner Art mustergültigen und anscheinend abschliessenden Handbuche von Grisebach [67], neben welchem auch die von dem gleichen Verfasser für das „Geogr. Jahrbuch" bearbeiteten Jahresberichte, von Drude ebenso fortgeführt, den Fortschritt der Disciplin trefflich zur Darstellung bringen†). Erst in neuester Zeit ist, wie

---

nach Art derer der Wechsel- oder Strichvögel — waren und erst allmählig auf dem Wege der Vererbung zu ihrer gegenwärtigen bewundernswerthen Regelmässigkeit gelangten. Auch durch spätere Arbeiten v. Homeyer's [53] und Ph. Müller's [54] scheint in Hinsicht auf die Kausalerklärung ein wesentlicher Fortschritt über den bereits von Palmén gewonnenen Standpunkt hinaus nicht erreicht worden zu sein. Um Thatsachen von Glaubwürdigkeit zur Verfügung zu bekommen, hat sich [55] in England ein Komité von Gelehrten zum Studium der Vogelflugslinien gebildet; alle Strand- und Leuchtschiffswächter Grossbritannien's erhielten Anweisungen zur Anstellung von Beobachtungen, zu denen sie bei der bekannten Neigung der Zugvögel für Leuchtfeuer — besonders bekannt ist hiefür die Kattegat-Insel Anholt — vollauf Gelegenheit haben. 123 von 196 Formularen hat die Gesellschaft ausgefüllt zurückerhalten, und es erhellt aus diesen Aufzeichnungen mit Sicherheit, dass die Vögel bei der Hin- und Herreise genau die nämliche Zugstrasse einhalten [56]. Möbius macht die geistvolle Andeutung, dass vielleicht die sich stets gleich bleibende Dünungsrichtung in gewissen Meeren ebenso den Vögeln die Orientirung erleichtern könne, wie sie eine solche einzelnen polynesischen Stämmen hinsichtlich ihrer Schifffahrt ermöglicht [57].

*) Es geschieht diess in der nur handschriftlich auf uns gekommenen „Flora von Japan", welche um 1683 abgefasst wurde [58].

**) Martins, dessen kurzer Abriss der Pflanzengeographie viel Lesenswerthes enthält [61], erkennt auch dem Abbé Giraud-Soulavie (vgl. S. 530) und dem Engländer Arthur Young, dem Begründer der vergleichenden Agronomie, ein bedeutendes Verdienst zu. — Nicht jedoch Humboldt, wie man meist annimmt, sondern Goethe war es, der, wie Ruge feststellte [62], als der Erste die vertikalen Verbreitungsgrenzen der Gewächse graphisch zum Ausdruck brachte.

***) So erkannte er insbesondere, dass Alpenpflanzen starke Licht-, aber nur geringe Wärmemengen brauchen. Schon Scheuchzer hat in seiner „Stoicheiologia ad Helvetiam applicata" (Tiguri 1700) die Verkümmerung alpiner Formen mit der dünnen Luft in Verbindung gebracht. — Dodel-Port's Ansicht [65], dass relativer Mangel an Insekten die Farbenpracht der Alpenblume bedinge, wird von H. Müller [66] bekämpft.

†) Die historische Bedeutung Grisebach's ist neuerdings vielfach verkannt worden. In seinem warm gefühlten Lebensabriss des grossen Naturforschers weist A. König nach [68], dass man die Bedeutung der originellen Leistungen der letzteren Jahre voll anerkennen könne, ohne doch einer ungerechten Würdigung des theilweise einem ganz anderen Ziele zugewandten Grisebach'schen Strebens verfallen zu müssen.

wir gleich sehen werden, durch Hineintragung geologischer Gesichtspunkte der frühere Gesichtskreis abermals um ein Beträchtliches erweitert worden*).

Die Pflanze ist in erster Linie vom Klima, dann aber auch von den Bodenverhältnissen**) abhängig; ausserdem sind die Winde, die Meeresströmungen und der Transport durch Thiere und Menschen***) für ihre Verbreitung thätig und maassgebend. Pflanzen, die jetzt nur an weit entlegenen Orten der Erde gefunden werden, sind wahrscheinlich die letzten Ueberreste einer weit verbreiteten Tertiärflora; wenn ihr Standort dagegen ein völlig vereinzelter ist, so war die gegenwärtige Heimath zugleich das Entwickelungscentrum, und es fehlten alle Bedingungen der Verbreitung [75]†).

Die klimatische Abhängigkeit der Pflanzen bringt es mit sich, dass Tropenzone, gemässigte Zone und kalte Zone sich in ihrem Vegetationskleide wesentlich von einander unterscheiden. Das Charakteristikum des erstgenannten Erdgürtels bilden die Palmen, den Uebergang zur gemässigten Zone leitet die Region der immergrünen Laubbäume ein; darauf folgt diejenige der sommergrünen Laubbäume und hierauf die Koniferenzone [79]. Die arktische Waldgrenze bleibt im Allgemeinen der 10°-Isotherme des wärmsten Monates getreu. Den Uebergang vom waldigen zum waldlosen Lande vermitteln die Savanen, Grasfluren mit einzelnen Bauminseln, und an sie wieder schliessen sich jene Grassteppen (Pussten, Pampas) an, deren in §. 7 des vorigen Kapitels gedacht wurde [80]. Da die Temperatur auch in vertikaler Richtung abnimmt, so ist die Anordnung der Pflanzen-

---

*) Bei der Schilderung dieser neuesten Phase konnte ein — nach einem Vortrage des schwedischen Botanikers Wittrock — gearbeiteter Aufsatz W. Kaiser's [69] mit Vortheil zu Rathe gezogen werden.

**) Thurmann [70] und Contejean [71] sind der Meinung, dass nicht sowohl die chemische Beschaffenheit, als vielmehr die mechanischen Zersetzungsbedingungen des Bodens Fortkommen und Verkümmerung der Arten bedingen. Nach Contejean gäbe es folgende vier Vegetationsgruppen: die maritime, welche salzigen Boden braucht, die calcicole, welche auf Kalkboden am besten gedeiht, die calcifuge, das Widerspiel der vorigen, und die kosmopolitische indifferente. — Krašan's Ansicht [72] (vergl. Band I. S. 303), dass die innere Erdwärme neben den Insolationsverhältnissen eine Rolle spiele, will zu den a. a. O. entwickelten Sätzen über die neutrale Erdschicht nicht recht stimmen.

***) Die hohe Bedeutung, welche für den ganzen Haushalt der Natur die Befruchtung der Blumen durch Insekten besitzt, ist, nachdem schon früher Sprengel, R. Brown, Ascell sich eingehend mit den bezüglichen Fragen beschäftigt haben, in unseren Tagen durch die Arbeiten von Delpino [73] und H. Müller [74] vollkommen klar gestellt worden. — Vögel tragen häufig an den Füssen Erdklumpen mit Pflanzensamen in weit abgelegene Gegenden. — Pflanzensiedelungen sollen sich genau an jenen Stellen der Eisenbahnen bilden, an welchen diese eine Krümmung machen, an welchen somit die Centrifugalkraft ein Hinausschleudern der im Gepäckwagen allenfalls mitgeführten Pflanzenkörper begünstigt.

†) Mit diesem Endemismus der Pflanzen macht uns Palacky [76] näher bekannt. Am kräftigsten entwickelt zeigt sich derselbe in Brasilien und auf den Antillen, wogegen die arktische Flora kaum einen einzigen Beleg dafür aufweist. Gewiss der merkwürdigste Fall für das endemische Vorkommen einer bestimmten Art ist die blaue „Wulfenia Carinthiaca", die nach Gilbert-Churchill ganz ausschliesslich an einem Punkte in der Umgebung von Pontafel zu finden ist [77]. — Eine originelle mathematische Theorie über das Verhalten von Pflanzengattungen, welche auf dem nämlichen Flecke ihr Dasein zu fristen angewiesen sind, ist von Nägeli aufgestellt worden [78].

welt in radialer Richtung derjenigen, die sich bei'm Fortschreiten nach den Polen hin ergiebt, ganz analog*).

Jener neue und inhaltsschwere Gedanke, der nach dem Erscheinen von Engler's bahnbrechendem Werk [82] die Pflanzengeographie beherrscht und noch für lange beherrschen wird, lässt sich dahin präcisiren: Die moderne Pflanzenwelt ist nur eine Reminiscenz an die dereinstige Tertiärflora, und deren spezifische Elemente — das arktisch-tertiäre, das paläotropische, das neotropische und das altoceanische — haben die Fingerzeige zu liefern, nach welchen die Eintheilung in Florenreiche und Florengebiete auch für die heutigen Verhältnisse zu erfolgen hat.

[1] Kant's Schriften zur physischen Geographie, herausgeg. v. F. W. Schubert, Leipzig 1839. S. 313 ff. — [2] Spinoza, Ethik, deutsch von V. Schmidt, Berlin-Stettin 1812. S. 277. — [3] P. Lehmann, Herder's Bedeutung für die Geographie, Berlin 1883. — [4] Ibid. S. 6 ff. — [5] Ibid. S. 15. — [6] Herder, Ideen zur Philosophie der Geschichte der Menschheit, 3. Theil, 98. Band der Samml. deutscher Klassiker, Karlsruhe 1820. S. 90 ff. — [7] Spörer, Zur historischen Geographie, Behm's geogr. Jahrb., 3. Band, Gotha 1870. S. 326 ff. — [8] H. Wagner, Bericht über die Entwickelung der Methodik der Erdkunde, ibid. 8. Band. S. 527 ff.; ibid. 9. Band. S. 674 ff. — [9] Marthe, Was bedeutet Carl Ritter für die Erdkunde?, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 14. Band. S. 356 ff. — [10] v. Liechtenstern, Die neuesten Ansichten der Erdkunde in ihrer Anwendung auf den Schulunterricht, Braunschweig 1846. — [11] Oberländer, Der geographische Unterricht nach den Grundsätzen der Ritter'schen Schule historisch und methodisch beleuchtet, Grimma 1869. — [12] C. Ritter, Allgemeine Erdkunde, Berlin 1862. S. 197. — [13] Ratzel, Anthropogeographie oder Grundzüge der Anwendung der Erdkunde auf die Geschichte, Stuttgart 1882. — [14] Ratzel, Selbstanzeige hiezu, Ausland, 1882. S. 671 ff. — [15] Ratzel, Ueber die geographischen Bedingungen und die ethnographischen Folgen der Völkerwanderungen, Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 7. Band, S. 297 ff. — [16] Ibid. S. 302. — [17] Ratzel, Anthropogeogr. S. 464 ff. — [18] M. Wagner, die Darwin'sche Theorie und das Migrationsgesetz der Organismen, Leipzig 1868. — [19] Ibid. S. 27. — [20] Ratzel, Anthropogeogr., S. 61. — [21] Kohl, Der Verkehr und die Ansiedlungen der Menschen in ihrer Abhängigkeit von der Gestaltung der Erdoberfläche, Dresden-Leipzig 1841. — [22] Janssen, Die Bedingtheit des Verkehrs und der Ansiedlungen des Menschen durch die Gestaltung der Erdoberfläche, nachgewiesen insonderheit an der cimbrischen Halbinsel, Kiel 1861. — [23] Krause, Das Urbild der Menschheit, Dresden 1811. S. 251 ff. — [24] Ratzel, Anthropogeogr., S. 88 ff. — [25] Ibid. S. 157 ff. — [26] Ibid. S. 181 ff. — [27] Ibid. S. 251 ff. S. 273 ff. — [28] Ibid. S. 296 ff. — [29] Ibid. S. 333 ff. — [30] Klutschak, Als Eskimo unter den Eskimos, Wien-Pest-Leipzig 1881. S. 11. — [31] Ratzel, Anthropogeogr. S. 177. — [32] F. G. Hahn, Ueber Galton's Isochronic Passat Chart und über eine Idee Carl Ritter's, Ausland 1882. S. 521 ff. — [33] Paulitschke, Ueber die Behandlung verkehrswissenschaftlicher Themen im geographischen Unterrichte, Verhandl. d. II. d. Geographent., Berlin 1882. S. 138. — [34] Götz, Die Aufgabe der wirthschaftlichen Geographie, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 17. Band. S. 354 ff. — [35] Ibid. S. 364. — [36] Götz, Das Donaugebiet mit Rücksicht auf

*) Für ein bestimmtes Florengebiet dürfte wohl Rein die Absteckung der vertikalen Vegetationsgrenzen am schärfsten durchgeführt haben. Er unterscheidet [81] fünf Höhenzonen in Japan, nämlich diejenigen der Kiefern und des Wachholders (bis zu 400 m Seehöhe), diejenigen der Kryptomerien, Cypressen und Eiben (bis zu 1000 m), diejenige der Tanne und des mittleren Laubwaldes (bis zu 1500 m), diejenige der Lärchen (bis zu 2000 m) und diejenige des Knieholzes (bis zu den höchsten dortigen Spitzen). Solches Knieholz (Krummholz, Latschen) reicht auch im europäischen Hochgebirge weit höher hinauf als die manchen Schwankungen (S. 288 ff.) unterworfene alpine Waldgrenze.

seine Wasserstrassen nach den Hauptgesichtspunkten der wirthschaftlichen Geographie dargestellt, Stuttgart 1882. — [37] G. Gerland, Ueber das Verhältniss der Ethnologie zur Anthropologie, Verh. d. II. d. Geographent., S. 54 ff. — [38] Zockler. Geschichte der Beziehungen zwischen Theologie und Naturwissenschaft. 1. Abtheil. 1877. S. 194. — [39] Ibid. S. 278 ff. — [40] Peschel-Ruge, Geschichte der Erdkunde bis auf A. v. Humboldt und C. Ritter, München 1877. S. 785. — [41] Eichwald, De selachis Aristotelis zoologiae geographicae specimen inaugurale, Vilnae 1814. — [42] Dambek, Die geographische Verbreitung der Fische, Gaea, 7. Jahrg. S. 275 ff. — [43] Ehrenberg, Einige Betrachtungen über das noch unbekannte Leben am Nordpol, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1. Band. S. 201 ff. — [44] Schmarda, Die geographische Verbreitung der Thiere, Wien 1853. — [45] Wallace, Die geographische Verbreitung der Thiere, deutsch von A. B. Meyer, Dresden 1876. — [46] Th. Fuchs, Was haben wir unter der Tiefseefauna zu verstehen?, Gaea, 18. Jahrgang. S. 598 ff. — [47] Die Tiefseeforschung an Bord des „Le Travailleur", Naturforscher, 16. Jahrgang. S. 84 ff. — [48] Th. Studer, Ueber einige wissenschaftliche Ergebnisse der Gazellen-Expedition, namentlich in zoogeographischer Beziehung, Verhandl. d. II. d. Geographent., S. 9 ff. — [49] Forel, Faunistische Studien in den Süsswasserseen der Schweiz, Biol. Centralbl., 2. Bd. S. 383 ff. — [50] Forel, Die pelagische Fauna der Süsswasserseen, ibid. 2. Band. S. 305. — [51] v. Reichenau, Die Farbe der Vogeleier, Kosmos, 1. Band. S. 209 ff. — [52] Ph. Müller, Palmén's Untersuchungen über die Zugstrassen der Vögel, Gaea, 12. Jahrgang. S. 715 ff. — [53] v. Homeyer, Die Wanderungen der Vögel mit Rücksicht auf die Züge der Säugethiere, Fische und Insekten, Leipzig 1881. [54] Ph. Müller, Die Wanderungen der Vögel, Gaea, 17. Jahrgang. S. 724 ff. — [55] Report on the migration of birds in the spring and autumn of 1881, London 1882. — [56] Die Wanderungen der Vögel in England, Gaea, 20. Jahrgang. S. 625 ff. — [57] Möbius, Ein Beitrag zur Frage über die Orientirung der wandernden Vögel, Ausland, 1882. S. 648 ff. — [58] Peschel-Ruge, Gesch. etc., S. 774. — [59] Wahlenberg, De vegetatione et climate in Helvetia septentrionali, Turici 1813. S. XXV ff. — [60] Humboldt, De distributione geographica plantarum, Paris 1817. — [61] Martins, Von Spitzbergen zur Sahara, deutsch von Vogt, 1. Abtheilung. Jena 1872. S. 1 ff. — [62] Ruge, Die erste biblische Darstellung von Hohenskalen der Gewächse, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 5. Band. S. 136. — [63] Schouw. Grundzüge der Pflanzengeographie, aus dem Dänischen, Berlin 1823. — [64] De Candolle, Essai élémentaire de géographie botanique, Genève 1820. — [65] Dodel-Port, Ueber Farbenpracht und Grösse der Alpenblumen, Kosmos, 1. Bd. S. 396 ff. — [66] H. Müller, Ueber Farbenpracht und Grösse der Alpenblumen, ibid. 1. Bd. S. 541 ff. — [67] Grisebach, Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung, Leipzig 1872. — [68] Cl. Konig, Ueber Grisebach's Denken und Schriften. Humboldt, 3. Jahrgang. S. 398 ff. — [69] W. Kaiser, Der gegenwärtige Stand des pflanzengeographischen Studiums, Gaea, 19. Jahrgang. S. 360 ff. — [70] Thurmann. Essai de phytostatique, Neuchâtel 1849. — [71] Contejean, Géographie botanique. influence du terrain sur la végétation, Paris 1881. — [72] Krasan, Die Erdwärme als pflanzengeographischer Faktor, Engler's bot. Jahrb., 2. Band. S. 185 ff. — [73] Delpino, Sugli apparecchi della fecondazione nelle piante antocarpee, Firenze 1867; Pensieri sulla biologia vegetale, Pisa 1867. — [74] H. Müller, Die Befruchtung der Blumen durch Insekten und die gegenseitige Anpassung beider. Leipzig 1873. — [75] Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 388. — [76] Palacky, Ueber die Gesetze des Endemismus, Sitzungsber. d. k. böhm. Ges. d. Wissensch., 1881. S. 437 ff. — [77] Gilbert-Churchill, Die Dolomitberge, deutsch von Zwanziger, Klagenfurt 1865. S. 189. — [78] Nägeli, Verdrängung der Pflanzenformen durch ihre Mitbewerber, Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wissensch., M.-ph. Kl., 1874. S. 109 ff. — [79] Supan, Grundz. etc., S. 394. — [80] Ibid. S. 407 ff. — [81] Rein, Japan nach Reisen und Studien, 1. Band, Leipzig 1881. — 82) Engler, Versuch einer Entwickelungsgeschichte der Pflanzenwelt; insbesondere der Florengebiete seit der Tertiärperiode, Leipzig 1879—82.

Namen-Index.

A.

B.

C.

D.

G.

H.

I. J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Y.

Z.

Berichtigungen und Zusätze.

S. 8, Z. 25 v. u. l. 271 statt 138.

S. 16, Z. 4 v. u. ergänze vor dem Semikolon: oder mit diesem einen bekannten Winkel bildet.

S. 17, Fig. 5 fehlt am Centrum der Buchstabe C, am Spiegel F; statt F ist zu lesen F'.

S. 27, Z. 31 v. o. l. noch nicht genug bekannt.

S. 31, Z. 22 v. o. l. 2a statt 3a.

S. 40, Fig. 13 fehlt da, wo CZ die kleinere Kugel schneidet, der Buchstabe P; da, wo AZ sie schneidet, B'.

S. 77, Fig. 19 ist $\sphericalangle$ FCW nicht $= \alpha$, sondern $= \alpha'$.

S. 82, Z. 22 v. o. l. $dp = \frac{1}{2} \alpha_p \,.\, dt \,.\, p$, $dv = \frac{1}{2} \alpha_v \,.\, dt \,.\, v$.

S. 84, Z. 5 v. u. l. $r \cos^2 \varphi$ und $r \sin \varphi \cos \varphi$ statt $r \cos \varphi$ und $r \sin \varphi$.

S. 107, Z. 12 v. o. l. $h_2 - h_1 = h$.

S. 109, Z. 2 v. o. l. $\frac{\sigma_1}{b_1}$ statt $\begin{matrix}\sigma_1\\ b_1\end{matrix}$.

S. 117, Z. 17 v. o. l. $\alpha_2 \sin 2iz$ statt $\alpha_2 \sin iz$.

S. 118, Z. 1 u. 3. v. u. l. $\cos \frac{i(z_k + z_{k-1})}{2}$ und $\sin \left(U_i + \frac{i(z_k + z_{k-1})}{2}\right)$.

S. 124, Fig. 32 fehlt dem unteren Buchstaben S der Index.

S. 130, Z. 24 v. o. l. 1 statt l; Z. 31 v. o. l. e_1 statt l_1.

S. 155, Fig. 40 fehlt zwischen Σ und Z der Buchstabe Σ_1.

S. 212, Z. 25 v. u. l. isobarische statt isolarische.

S. 226, Z. 2 v. u. l. Lersch statt Pilar.

S. 238, Z. 11 v. o. l. 48 statt 49.

S. 241, Z. 15 v. o. l. 8 statt 7a und entsprechend die folgenden §§.

S. 252, Z. 19, 22 und 23 v. u. l. w statt ω.

S. 254, Z. 1 v. o. l. wirklicher statt winterlicher.

S. 259, Z. 2 v. u. l. Johnston.

S. 287, Z. 8 v. u. l. achten statt neunten.

S. 289, Z. 6 v. o. l. Skrälinger statt Skälinger.

S. 301, Z. 4 v. u. l. von West nach Ost; Z. 1 v. u. l. ostwestlichen Kurs.

S. 314, Z. 11 v. o. l. auch statt nicht.

S. 324, Z. 4 v. u. ergänze nach I. Band: S. 17.

S. 325, Z. 21 v. u. l. E statt K.

S. 327, Z. 8 v. o. l. Lombock- und Allasstrasse.

S. 331. Z. 5 v. u. l. 2R.

S. 339, Z. 1 v. u. ist der Bruchstrich des ersten Bruches verschoben.

S. 460, Z. 13 v. u. l. Unterspülung.

S. 515, Z. 19 v. u. l. Demitschki.

S. 536, Z. 17 v. u. l. weist statt meist.

S. 624, Fig. 117, l. $\sigma_z + dz$ statt $\sigma_z \,.\, dz$, Z. 23 v. o. l. σ_z statt σ.

S. 625, Z. 8 v. u. l. z^{-3} statt z^{-5}.

S. 628, Z. 28 v. o., S. 645, Z. 4 u. 5 v. o. l. Dobschau statt Dobschan.

S. 653, Z. 12 v. o. l. Schouw statt Schouws.

S. 653, Z. 4. v. u. l. Cl. König statt A. König.